

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number: 2000-340550  
 (43)Date of publication of application: 08.12.2000

(51)Int.Cl.

H01L 21/3065  
 H05H 1/00  
 H05H 1/46

(21)Application number: 11-246175  
 (22)Date of filing: 31.08.1999

(71)Applicant: TOSHIBA CORP.  
 (72)Inventor: TONoya JUNICHI  
 FUKUMIZU HIROYUKI

(30)Priority

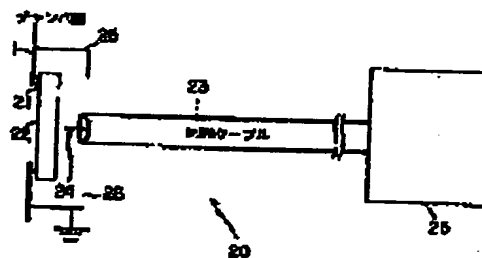
Priority number: 11081303 Priority date: 25.03.1999 Priority country: JP

## (54) METHOD AND EQUIPMENT FOR PLASMA TREATMENT AND PLASMA MONITORING EQUIPMENT

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain high sensitivity for plasma treatment without being influenced through film deposition by supplying high frequency power to the plasma with the frequency changing and then detecting the frequency of the high frequency power, corresponding to the minimum value of a reflected wave power to monitor the state of the plasma, based on the change in the frequency during treatment.

**SOLUTION:** High frequency power is supplied to an antenna 24, which causing frequency to change and the frequency of the high frequency power corresponding to the minimum value of the reflected wave power detected by the antenna 24 is detected by a detector 25. In a plasma monitoring section 20, the frequency of the high frequency power supplied from the detector 25 is supplied to the inside of a chamber 1 with the frequency changing, and at the same time, the reflected wave power is measured by the detector 25 based on the plasma inside the chamber 1. Absorption frequency corresponding to the minimum value of the reflected wave power is detected repeatedly, and the change of the frequency with the time is observed to monitor the state of the plasma during a plasma treatment.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

## \* NOTICES \*

JPO and NCIPJ are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.---

## CLAIMS

[Claim(s)]

- [Claim 1] The plasma treatment approach characterized by being the plasma treatment approach of generating the plasma in a plasma treatment container and performing predetermined processing, introducing high-frequency power to said plasma, changing a frequency, finding the reflected wave power from the plasma, detecting the frequency of the high-frequency power corresponding to the minimal value of reflected wave power, and carrying out monitoring of the condition of the plasma based on change of said frequency under plasma treatment.
- [Claim 2] The plasma treatment approach according to claim 1 characterized by said processing being plasma cleaning.
- [Claim 3] The plasma treatment approach according to claim 1 characterized by said processing being plasma etching.
- [Claim 4] The plasma treatment approach according to claim 1 characterized by said processing being plasma ashing.
- [Claim 5] A plasma treatment container, the transparency aperture prepared in the plasma treatment container, and the 1st antenna with the function which emits the high-frequency power for introducing to the plasma through a transparency aperture, The 2nd antenna with the function which detects the reflected wave power from the plasma which passed said transparency aperture, Plasma treatment equipment characterized by providing a detection means to detect the frequency of the high-frequency power corresponding to the minimal value of the reflected wave power which introduced while high-frequency power changed the frequency to said 1st antenna, and was detected with said 2nd antenna.
- [Claim 6] Plasma treatment equipment according to claim 5 characterized by having said function which said the 1st antenna and said 2nd antenna have, respectively in one antenna.
- [Claim 7] The point of said antenna is claim 5 characterized by contacting said aperture, or plasma treatment equipment given in 6 terms.---
- [Claim 8] A plasma treatment container and the dielectric tube which was inserted into the plasma treatment container and by which the head was stopped, The antenna which detects the reflected wave power from the plasma which was inserted into the dielectric tube, emitted the high-frequency power for introducing to the plasma through said tube, and passed said tube, Plasma treatment equipment characterized by providing a detection means to detect the frequency of the high-frequency power corresponding to the minimal value of the reflected wave power which introduced while high-frequency power changed the frequency to said antenna, and was detected with said antenna.
- [Claim 9] The point of said antenna is plasma treatment equipment according to claim 8 characterized by contacting the inner surface of the point of said tube.
- [Claim 10] Said antenna is claim 5 characterized by being linear [-like] thru/or plasma treatment equipment given in nine.
- [Claim 11] The point of said antenna is claim 5 characterized by making a L character mold thru/or plasma treatment equipment given in nine.
- [Claim 12] The point of said antenna is claim 5 characterized by making a T character mold thru/or plasma treatment equipment given in nine.
- [Claim 13] The point of said antenna is claim 5 characterized by making a loop formation thru/or plasma treatment equipment given in nine.
- [Claim 14] The point of said antenna is claim 5 characterized by having a plate thru/or plasma treatment equipment given in nine.
- [Claim 15] Claim 5 characterized by arranging the filter for cutting a specific frequency between said antennas and said detection means thru/or plasma treatment equipment given in 14 any 1 terms.
- [Claim 16] The 1st antenna which emits the high-frequency power introduced to the plasma under processing, The 2nd antenna attached in a plasma treatment container in order to detect the reflected wave power from the plasma, The plasma monitoring apparatus characterized by providing a detection means to detect the frequency of the high-frequency power corresponding to the minimal value of the reflected wave power which introduced while high-frequency power changed the frequency to said 1st antenna, and was detected with said 2nd antenna as an absorption frequency.
- [Claim 17] The plasma monitoring apparatus according to claim 16 characterized by having said function which said the 1st antenna and said 2nd antenna have, respectively in one antenna.

- [Claim 18] Said antenna is a plasma monitoring apparatus according to claim 16 or 17 characterized by being linear [-like].
- [Claim 19] The point of said antenna is a plasma monitoring apparatus according to claim 16 or 17 characterized by making a L character mold.
- [Claim 20] The point of said antenna is a plasma monitoring apparatus according to claim 16 or 17 characterized by making a T character mold.
- [Claim 21] The point of said antenna is a plasma monitoring apparatus according to claim 16 or 17 characterized by making a loop formation.
- [Claim 22] The point of said antenna is a plasma monitoring apparatus according to claim 16 or 17 characterized by having a plate.
- [Claim 23] Claim 16 characterized by arranging the filter for cutting a specific frequency between said antennas and said detection means thru/or a plasma monitoring apparatus given in 22 any 1 terms.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JP0 and NCIP1 are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the plasma treatment approach and plasma treatment equipment which are used by manufacture of electron devices, such as manufacture of a semiconductor device, and a thin film transistor for liquid crystal displays, and a plasma monitoring apparatus.

[0002]

[Description of the Prior Art] In manufacture of a semiconductor device, or manufacture of the electron device for liquid crystal displays, micro processing by the dry etching using the plasma is used frequently. In case dry etching of the multilayer which the thin film of a different ingredient piled up is carried out, terminal point detection of etching is important.

[0003] Usually, terminal point detection of dry etching is performed using a change of the emission spectrum line from the plasma on the strength, using a change of the reflected light from light on the strength and interference of light which carried out incidence to the thin film. Special equipment for the approach using the former reflected light etc. to secure an optical path is needed in many cases. Therefore, many emission spectrometry which generally uses a change of the latter emission spectrum line on the strength is used.

[0004] However, in the terminal point detection using emission spectrometry, since the amount of the resultant by etching will decrease if etching area becomes small, there is a problem that the detection sensitivity in an etching terminal point falls. For example, in acting as the monitor of the luminescence reinforcement of the radical in a resultant, a change of the emission spectrum line in an etching terminal point on the strength is too small, and detection sensitivity becomes small. Moreover, although luminescence of the radical in the plasma etc. is detected through a transparent aperture, the light transmittance of an aperture falls by deposition of etching gas or a resultant. Therefore, in emission spectrometry, there is a problem that there is a case where terminal point detection becomes impossible in connection with buildup of an etching throughput.

[0005] Then, the etching end point detector approach of being hard to be influenced of the film deposition which is high sensitivity and takes place into a plasma process rather than emission spectrometry is searched for.

[0006] It is important to attain stabilization of a process with the dry etching system using the plasma on the other hand. Therefore, while suppressing fluctuation of process parameters, such as a quantity of gas flow, a pressure, high-frequency power, and temperature, to keep the processing state inside the chamber of equipment constant is needed.

[0007] To fluctuation of the former process parameter, monitoring of the amount of fluctuation is usually always carried out. And if the amount of fluctuation exceeds a predetermined value, interlocking [of equipment] works, a process stops and he is trying to prevent the defect of membrane formation or processing. To fluctuation of the processing state inside the chamber of the latter equipment, there is almost no effective means to detect this. Therefore, after the fixed processing time, the interior of a chamber of equipment is cleaned and processing is usually initialized in many cases. There are plasma cleaning performed maintaining the inside of a chamber at a vacuum and wet screening which carries out atmospheric-air release of the chamber, and washes each parts with a drug solution etc. in this cleaning. Plasma cleaning is performed by deciding on cleaning time amount in many cases. However, carry out for performing which cleaning — since it becomes the factor which reduces the operating ratio of equipment, positive initialization is needed for a short time.

[0008] Then, the method of detecting fluctuation of the processing state inside the chamber of equipment is searched for. Moreover, in plasma cleaning, the method of carrying out the monitor of the change of the condition of the chamber wall by cleaning, and checking termination of initialization is searched for.

[0009]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] This invention aims at offering the plasma treatment approach which can carry out plasma treatment, plasma treatment equipment, and a plasma monitoring apparatus, carrying out monitoring of the effect of film deposition while processing fluctuation of the processing state inside the chamber of plasma treatment equipment by high sensitivity without hardly winning popularity.

[0010]

[Means for Solving the Problem] It is the plasma treatment approach of according to this invention generating the plasma in a plasma treatment container and performing predetermined processing, and high-frequency power is introduced to said plasma, changing a frequency, the reflected wave power from the plasma is found, the frequency

of the high-frequency power corresponding to the minimal value of reflected wave power is detected, and the plasma treatment approach characterized by carrying out monitoring of the condition of the plasma based on change of said frequency under plasma treatment is offered.

[0011] Moreover, the transparency aperture which was prepared in the plasma treatment container and the plasma treatment container according to this invention, The 1st antenna with the function which emits the high-frequency power for introducing to the plasma through a transparency aperture, The 2nd antenna with the function which detects the reflected wave power from the plasma which passed said transparency aperture, It introduces, while high-frequency power changes a frequency to said 1st antenna, and the plasma treatment equipment characterized by providing a detection means to detect the frequency of the high-frequency power corresponding to the minimal value of the reflected wave power detected with said 2nd antenna is offered.

[0012] Moreover, the dielectric tube which was inserted into the plasma treatment container and the plasma treatment container according to this invention and by which the head was stopped, The antenna which detects the reflected wave power from the plasma which was inserted into the dielectric tube, emitted the high-frequency power for introducing to the plasma through said tube, and passed said tube, It introduces, while high-frequency power changes a frequency to said antenna, and the plasma treatment equipment characterized by providing a detection means to detect the frequency of the high-frequency power corresponding to the minimal value of the reflected wave power detected with said antenna is offered.

[0013] Moreover, the 1st antenna which emits the high-frequency power introduced to the plasma under processing according to this invention, The 2nd antenna attached in a plasma treatment container in order to detect the reflected wave power from the plasma, It introduces, while high-frequency power changes a frequency to said 1st antenna, and the plasma monitoring apparatus characterized by providing a detection means to detect the frequency of the high-frequency power corresponding to the minimal value of the reflected wave power detected with said 2nd antenna as an absorption frequency is offered.

[0014] In this invention, it is desirable to have said function which said the 1st antenna and said 2nd antenna have, respectively in one antenna.

[0015]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, this invention is explained to a detail with reference to a drawing. Drawing 1 is the outline sectional view showing an example of the plasma treatment equipment concerning this invention. The plasma treatment equipment concerning this invention is equipped with the plasma treatment section 10 and the plasma monitoring section 20.

[0016] The plasma treatment section 10 has pointed out plasma treatment equipments, such as the equipment which is made to generate the plasma which may set to the technical field concerned and is known, and performs predetermined processing, for example, a microwave excitation method, an ECR (electron cyclotron resonance) method, an ICP (inductive-coupling mold plasma) method, a downflow method, and a parallel plate method. These equipments are used for a plasma etching system, plasma cleaning equipment, a plasma ashing device, etc.

[0017] Drawing 1 shows the equipment which used the plasma treatment section 10 of an ICP method as an example. In drawing 1, the quartz aperture 2 is formed in the chamber 1. As for the mounting eclipse and the loop antenna 3, the loop antenna 3 is connected to RF generator 5 for plasma through the adjustment machine (matching box) 4 on the outside of the quartz aperture 2. After impedance matching of the high-frequency power generated with the power source 5 is carried out with the adjustment vessel 4, it is introduced in a chamber 1 through the quartz aperture 2 from a loop antenna 3. Moreover, the gas inlet 6 for introducing the gas for plasma from the source of gas supply (not shown) in a chamber 1 and the exhaust port 7 for exhausting the inside of a chamber 1 with an exhaust air pump (not shown) are established in the chamber 1. Furthermore, in the chamber 1, the substrate electrode 8 which served as the installation base for laying processed materials, such as a silicon wafer, is formed.

[0018] The plasma monitoring section 20 concerning this invention is for carrying out monitoring of the plasma state, while the plasma treatment section 10 processes. Drawing 2 is the schematic diagram showing an example of the plasma monitoring section 20. In drawing 2, the transparency aperture 22 is attached in opening of chamber 1 wall of plasma treatment equipment through the seal member 21. Said front face near the front face by the side of the atmospheric air of the transparency aperture 22 was contacted, the end of a coaxial cable 23 has been arranged, and the core wire 24 which is an inner conductor is exposed to this end. The other end of a coaxial cable 23 is connected to the detection means 25. It insulates with an inner conductor 24 with the insulating material which is not illustrated, and the outer conductor of a coaxial cable 23 is grounded with the chamber 1 with the grounding conductor 26.

[0019] The transparency aperture 22 is for introducing into the plasma the high-frequency power emitted from a core wire 24 so that it may mention later, and taking out the reflected wave power from the plasma to an atmospheric air side. The ingredients which form the transparency aperture 22 are dielectric materials which the vacuum ambient atmosphere in a chamber 1 can be maintained [ dielectric materials ], and breakage by the plasma is not received [ dielectric materials ], but make high-frequency power and reflected wave power penetrate. Such ingredients are the organic substance, such as engineering plastics, such as inorganic substances, such as a quartz, oxidation aluminum (aluminum 2O3), nitriding aluminum (AlN), and boron nitride (BN), or polyimide, and a polyester, ethyl ketone. Configurations, such as thickness of the transparency aperture 22, choose a suitable thing according to the class of plasma treatment which carries out monitoring, the frequency of the high-frequency power to be used, etc. Although the thickness of the transparency aperture 22 is 5mm, its one thinner generally is desirable.

That is because the high-frequency power absorbed without being reflected by the plasma increases comparatively (henceforth an absorption coefficient) so that it may mention later, so monitoring becomes easy.

[0020] The core wire 24 which a coaxial cable 23 exposes emits high-frequency power, and acts as an antenna for detecting the reflected wave power from the plasma. After the high-frequency power from a detection means 25 to mention later is transmitted with a coaxial cable 23, it is emitted from a core wire 24, and it is introduced in a chamber 1 through the transparency aperture 22. The frequency of high-frequency power is 1-10GHz. Except being absorbed at the time of a certain specific frequency (it being called an absorption frequency), it is reflected by the plasma and the high-frequency power introduced in the chamber 1 is taken out through the transparency aperture 22 to an atmospheric-air side. The taken-out reflected wave power is detected with a core wire 24, and is sent to the detection means 25 through a coaxial cable 23.

[0021] An antenna 24 has that ( drawing 3 (a)) to which a point as shown in drawing 3 other than the shape of linear [ which is shown in drawing 2 ] makes a L character mold, the thing ( drawing 3 (b)) to which a point makes a T character mold, the thing ( drawing 3 (c)) to which a point makes a loop formation (a spiral is included), or the thing ( drawing 3 (d)) in which a point has a plate. In the antenna 24 of the shape of linear [ which was shown in drawing 2 ], the number of absorption frequencies (the number of absorption peaks) with which the absorption coefficient of high-frequency power increases, and absorption of high-frequency power breaks out increases, so that a straight-line part is long. The die length of an antenna 24 is 2mm or more preferably, and is 8 thru/or 12mm more preferably. If die length is less than 2mm, the absorption coefficient of high-frequency power will be too low, and monitoring will become difficult. If die length exceeds 12mm, there will be too many absorption peaks, identification will become difficult, and monitoring will become difficult too. To the plasma with especially large electron density, since the inclination is strong, the shorter one of die length is good. - - - -

[0022] By the way, when the electron density of the plasma is small, an absorption coefficient falls. Moreover, since it has distribution to which the electron density of the plasma becomes low near a chamber wall, if a tube 32 approaches the wall of a chamber 1, an absorption coefficient will fall too. Furthermore, when tube 32 front face is polluted by the plasma, an absorption coefficient falls as contamination progresses. Thus, when performing measurement and monitoring of electron density about the plasma with small electron density, or plasma which pollutes the front face of a probe, it is necessary to rationalize this configuration of an antenna 24, and the configuration of a tube 32, to enlarge an absorption coefficient, and to raise sensitometry.

[0023] The thing of each configuration shown in drawing 3 from such a viewpoint rather than the shape of linear [ which is shown in drawing 2 ] is more-desirable. In the configuration shown in drawing 3, the field of the antenna 24 which counters the transparency aperture 22, and the field of the antenna 24 which in other words is projected on the transparency aperture 22 increase. Therefore, the rate of the high-frequency power introduced into the plasma through the transparency aperture 22 increases from an antenna 24. Consequently, the absorption coefficient of high-frequency power also increases and monitoring becomes easy. Therefore, in the configuration shown in drawing 3, the larger one of the direction [ it is long ] is desirable [ L characters which counters the transparency aperture 22, T characters, and the part of a loop formation / the part of a plate ] respectively. As short the one of a straight-line part as possible is desirable in that case. It is because generating of two or more peaks with a large absorption coefficient which suppresses lowering of the spatial resolving power of plasma monitoring, such as electron density, and was stated in the place of a linear-like antenna can be suppressed by shortening. Moreover, as for each part of L characters, T characters, a loop formation, and a plate, it is desirable to be formed so that it may be parallel to the transparency aperture 22. Moreover, when the die length of the parts of L characters and T characters is the same, since the absorption coefficient of high-frequency power increases, the antenna 24 of a T character mold is more desirable than a L character mold.

[0024] It is more desirable for the point of an antenna 24 to contact the front face by the side of the atmospheric air of the transparency aperture 22 in drawing 2. By contacting, since [ with few absorption frequencies ] the absorption coefficient is the highest, monitoring becomes easy, so that it may mention later.

[0025] The detection means 25 is introduced while high-frequency power changes a frequency to an antenna 24, and the frequency of the high-frequency power corresponding to the minimal value of the reflected wave power detected with the antenna 24 is detected. Since high-frequency power is absorbed by the plasma at the time of an absorption frequency as mentioned above, the value of reflected wave power serves as the minimum. That is, the detection means 25 detects an absorption frequency. The detection means 25 is a network analyzer etc. The network analyzer is equipped with the function to detect an absorption frequency from the reflected wave power which measures reflected wave power simultaneously and which was functioned and measured, generating the function and high-frequency power which generate high-frequency power while carrying out the sweep of the frequency. Moreover, this analyzer also has the function to generate high-frequency power and to ask for an absorption frequency, for every predetermined time interval, carrying out the sweep of the frequency.

[0026] It is desirable that the filter for cutting a specific frequency into the coaxial cable 23 between an antenna 24 and the detection means 25 is arranged. It can prevent that the high-frequency power for-causing-the-plasma-in-a-chamber 1 mixes in the measured value of reflected wave power, and serves as a noise by carrying out like this. Such filters are a high-pass filter, a low pass filter, a band pass filter, etc.

[0027] Drawing 4 is the schematic diagram showing other examples of the plasma monitoring section 20. In addition, in order to simplify explanation, the monitoring section 20 of the configuration of drawing 4 is not shown in drawing 1. In drawing 4, the dielectric tube 32 is inserted through the seal member 31 into the chamber 1 of plasma treatment equipment. Into the dielectric tube 32, the end of the coaxial cable 23 shown by drawing 2 is inserted, and

the other end is connected to the detection means 25 shown in drawing 2. The core wire 24 which a coaxial cable 23 exposes contacts the inner surface near the inner surface of the point of a tube 32, and is arranged. Although not illustrated, the outer conductor of the coaxial cable 23 of drawing 4 as well as the coaxial cable 23 shown in drawing 2 is grounded with the chamber 1. The ingredients which form the dielectric tube 32 are the ingredient which forms the transparency aperture 22 shown in drawing 2, and the same dielectric materials. A suitable thing is chosen with the class of plasma treatment which carries out monitoring also of the configurations, such as thickness of the dielectric which constitutes the dielectric tube 32, the frequency of the high-frequency power to be used, etc. The one thinner generally of the thickness of a tube 32, especially the thickness of a point is desirable like the transparency aperture 22. The thickness of the point of a tube 32 is 2mm. Moreover, although the head of the dielectric tube 32 shown in drawing 4 is stopped on the curved surface, it is more desirable to stop the head of a tube 32 at the flat surface. By carrying out like this, the absorption coefficient of the high-frequency power by the plasma increases too.

[0028] The core wire 24 shown in drawing 4 also acts as an antenna for omitting high-frequency power and detecting reflected wave power like the core wire 24 of drawing 2. That is, the high-frequency power emitted from the core wire 24 penetrates the dielectric tube 32, and is introduced to the plasma in a chamber 1; and after the reflected wave power from the plasma penetrates the dielectric tube 32, it is detected with a core wire 24.

[0029] A configuration, die length, etc. of an antenna 24 of drawing 4 are the same as that of the antenna 24 shown in drawing 2 and drawing 3. It is more desirable for the point of the antenna 24 of drawing 4 to also contact the inner surface of the point of a tube 32. In addition, when the head of a tube 32 is stopped not on a flat surface but on the curved surface, it is desirable to make the point of an antenna 24 deform so that the curved surface may be suited. By carrying out like this, even if the head of a tube 32 is a curved surface, the point of an antenna 24 can fully be contacted to the inner surface of the point of a tube 32.

[0030] In addition, the monitoring section 20 shown in drawing 2 is more desirable than the plasma monitoring section 20 of the gestalt shown in drawing 4. Although the dielectric tube 32 of drawing 4 is inserted and used into a chamber 1, the transparency aperture 22 of drawing 2 is only attached in the wall of a chamber 1. Therefore, it is because there is more little effect which the direction of the monitoring section 20 of drawing 2 has on the plasma during monitoring.

[0031] Next, actuation of the equipment shown in drawing 1 is explained. First, the plasma treatment section 10 performs plasma treatment as follows. After exhausting the inside of a chamber 1 through an exhaust port 7 first and making it a predetermined pressure, the gas for plasma is introduced in a chamber 1 through a gas inlet 6 from the source of gas supply (not shown). The high-frequency power for plasma generating is introduced in a chamber 1 through the quartz aperture 2; the gas for plasma is ionized, and the plasma is generated. Plasma treatment of the processed material on the substrate electrode 8 is carried out by the generated plasma.

[0032] The plasma monitoring section 20 carries out monitoring of the plasma as follows. The high-frequency power from the detection means 25 is introduced into the chamber 1 interior, changing a frequency, and the reflected wave power from the plasma of the chamber 1 interior is simultaneously measured with the detection means 25. And the absorption frequency corresponding to the minimal value of reflected wave power is detected. An absorption frequency has a correlation reflecting the condition of the plasma of the chamber 1 interior so that it may mention later. Therefore, monitoring of the plasma state under plasma treatment can be carried out by repeating and detecting an absorption frequency and observing the change accompanying the passage of time of this frequency.

[0033] Moreover, as the transparency aperture 22 and the dielectric tube 32 mentioned above, even if the film accumulates during plasma treatment by being formed with dielectric materials at the transparency aperture 22 and a tube 32, transparency of high-frequency power and reflected wave power is hardly affected. Therefore, it is possible to carry out monitoring of the effect of the film deposition under processing, without hardly winning popularity. Moreover, monitoring of the plasma can be carried out, without carrying out metal contamination of a wall, a processed material, etc. of a chamber 1 under plasma treatment by forming the transparency aperture 22 and the tube 32 from dielectric materials.

[0034] The plasma monitoring section 20 mentioned above could input the absorption frequency for which it asked with the detection means 25 other than a configuration as shown in drawing 2 and 3 for every predetermined time interval, and may be further equipped with the monitoring means for carrying out monitoring of the change of this frequency automatically. A monitoring means has the function to send a predetermined signal to a plasma adjustment means which issues a predetermined display outside to function or mention later, when it separates from the range which the value of the absorption frequency detected with the detection means 25 shifted with the passage of time, and was set up beforehand. A monitoring means is the computer by which predetermined programming was carried out.

[0035] In addition, the following approaches may be adopted as monitoring of an absorption frequency. That is, the value of reflected wave power is measured simultaneously, fixing a frequency in the detection means 25 and introducing high-frequency power to the chamber 1 interior. And monitoring of the value change of the reflected wave power measured is carried out with a monitoring means. The value of the absorption frequency detected by the detection means 25 for example, during plasma treatment at the very beginning is used for the frequency of the fixed high-frequency power. Thus, change of an absorption frequency can be observed also by carrying out monitoring of the change of the reflected wave power in an absorption frequency. If the reflected wave power in an absorption frequency shows the minimal value and an absorption frequency shifts it, the value of reflected wave power will be for increasing from the minimal value. When it separates from the range which the value of reflected

wave power shifted and was set up beforehand, a monitoring apparatus issues a predetermined display outside, or sends a predetermined signal to a plasma adjustment means to mention later etc.

[0036] As long as the plasma monitoring section 20 is still more nearly required, it may be further equipped with the plasma adjustment means for adjusting the plasma state under processing. This plasma adjustment means adjusts the condition of the plasma under processing in response to the signal from a monitoring means. This plasma adjustment means also consists of a computer by which predetermined programming was carried out like the previous monitoring means. The plasma adjustment means is connected with RF generator 5 for plasma shown in drawing 1, the adjustment machine 4, or the source of gas supply (not shown). And at least one operational parameter of these configurations is adjusted for a signal from a monitoring means at the time of a carrier beam, and the plasma state of the chamber 1 interior is adjusted. It is the flow rate of the gas supplied as a parameter to adjust from the electrical potential difference of the high-frequency power generated in RF generator 5 or a frequency, and the source of gas supply (not shown), for example etc.

[0037] By adjusting the plasma state with a plasma adjustment means, the plasma treatment in the plasma treatment section 10 can be suspended to suitable timing. Specifically, a halt of plasma-etching processing, a halt of plasma cleaning treatment, a halt of plasma ashing processing, etc. can be performed. In other words, detection of the terminal point (end point) of plasma etching, detection at the termination event of plasma cleaning, or detection at the termination event of plasma ashing can be performed.

[0038] In addition, a monitoring means and a plasma adjustment means may be collectively used as equipment for plasma monitoring for external the antenna (core wire) 24 of the point of the coaxial cable 23 shown in drawing 2 or 3 among the members which constitute the plasma monitoring section 20 explained above, the detection means 25, and if needed, if the monitoring apparatus of such a configuration is attached in the existing plasma treatment equipment which does not have monitoring feature, monitoring of the plasma can be carried out also about existing plasma treatment equipment.

[0039] In addition, when plasma treatment equipment has beforehand opening for the transparency aperture for observing the chamber 1 interior, it is not necessary to prepare opening in the body of plasma treatment equipment newly that what is necessary is just to attach the transparency aperture 22 of drawing 2 in this opening. Therefore, the equipment for monitoring including the configuration shown in drawing 2 can be easily attached to existing plasma treatment equipment. Moreover, as shown in drawing 1, in the case of the plasma treatment section 10 of an ICP method, the dielectric components of a chamber 1 may be shared as a transparency aperture 22. Such components are the quartz aperture 2 for impressing high-frequency power in a chamber 1, or covering material (focal ring) of the substrate electrode 8. It becomes unnecessary to prepare dielectric components with the new transparency aperture 22 etc. by carrying out like this.

[0040] Drawing 5 is drawing having shown typically the measurement result when having generated the plasma using the equipment shown in drawing 1. Introducing high-frequency power into the chamber 1 interior, changing a frequency, and measuring reflected wave power. It is the reflection coefficient ratio to which the axis of abscissa of drawing 5 \*\* (ed) on the frequency of high-frequency power, and the axis of ordinate \*\* (ed) reflected wave power with the value of high-frequency power. As shown in drawing 5, the peak of the minimal value appears in the reflection coefficient ratio measured (the height of this peak corresponds to the absorption coefficient of the above-mentioned high-frequency power). As mentioned above, the minimal value appears because a part of high-frequency power introduced into the chamber 1 interior is absorbed by the plasma. Drawing 5 shows the case where two or more minimal value a, b, c, and d appears as an example. The frequency of the high-frequency power corresponding to each of these minimal value is an absorption frequency. Each absorption frequency is shifted with time amount reflecting change of the plasma under plasma treatment. By observing this shift amount, monitoring of the plasma state under processing can be carried out. In addition, as shown in drawing 5, when there are two or more absorption frequencies, monitoring of the change is carried out paying attention to one of frequencies [ them ].

[0041] An absorption frequency is an amount corresponding to the plasma state, and is an amount corresponding to the electron density of the plasma in a detail more. The electron density of the plasma changes sensitively reflecting fluctuation of the interaction between the plasma and chamber 1 wall, i.e., fluctuation of the processing state in the chamber 1 interior. That is, the electron density of the plasma changes with deactivation in the chamber 1 wall front face of the active species in the plasma, electronic loss, re-bleedoffs of the particle from the wall front face of a chamber 1 to the inside of the plasma, etc., in order that the gas presentation in the plasma may change. More specifically, change of electron density takes place, in order that a resultant may arise for example, during etching, or a part of etching gas may be consumed at a reaction and the gas presentation in plasma may change. The change in such electron density changes by whether the gas in the plasma becomes easy to emit an electron, or it becomes easy to incorporate, and the amount of increase and decrease changes with etching ingredients. Therefore, monitoring of the plasma state under processing, as a result the processing state in the chamber 1 interior can be carried out by high sensitivity by carrying out monitoring of the change of an absorption frequency.

[0042] In addition, when the monitoring section 20 of the configuration of drawing 4 is adopted, the value of the absorption frequency measured is shifted with the location of the coaxial cable 23 in the die-length direction of a tube 32. This is because it is thought that the mode in which the surface waves to which the value of an absorption frequency exists near the insulating material front face which forms the dielectric tube 32 differ is supported. As especially shown in drawing 5, when there are two or more absorption frequencies, even if the absorption frequency with the lowest frequency (for example, frequency of the peak a of drawing 5) moves the location of a coaxial cable



23, it is not shifted, but other absorption frequencies (for example, frequency of peak b-d of drawing 5) shift it. All of these frequencies are the points which extrapolated the head location of the core wire (antenna) 24 of a coaxial cable 23 in the latest location (location of the point outside surface of a tube 32) of the dielectric tube 32, and its value corresponds. It is thought that these congruous absorption frequencies are in agreement with surface wave resonant frequency, and it can ask for the electron density of the plasma according to a bottom type (1) from this frequency.

[0043]

$n_e = (\epsilon_0 \text{ and } m_e \text{ } \epsilon_2) / e^2 (1 + \epsilon_0 \text{ and } \omega_2)$  ..... (1) Here, it is  $n_e$ . Electron density and  $\epsilon_0$  The dielectric constant in a vacuum, and  $m_e$  Mass of electrons and  $e$  are an electronic charge quantum and  $\epsilon_2$  and  $\omega_2$  are the absorption frequencies in an extrapolating point.

[0044] However, the location of a coaxial cable 23 is moved, peak b-d is shifted, it is complicated to ask for the frequency which is in agreement at an extrapolating point as mentioned above, and it requires time amount. Moreover, although the frequency of the peak a which is not shifted always shows the frequency which is in agreement at an extrapolating point, compared with the peak of other b-d, its magnitude is small, and identification of a frequency is difficult for it.

[0045] Then, the correlation of a frequency is usually measured among the peaks to shift between the peak with the largest value (for example, the peak d), and the peak a which is not shifted. Measurement is in the condition which fixed the location of a coaxial cable 23, it changes electron density variously to the plasma of a certain type of gas, takes the data of drawing 5, and is performed in quest of the relation between the frequencies of two peaks a and d from these data. Once it searches for this correlation, it will become possible to ask for the electron density of the plasma easily and promptly from the data of drawing 5 measured during the monitoring of the plasma. Namely, what is necessary is to ask for the frequency of Peak d from the data of drawing 5, and just to ask for electron density using said correlation and formula (1). Moreover, in order to ask for electron density which was mentioned above, it is not necessary to move the location of a coaxial cable 23.

[0046] As mentioned above, as explained, in this invention, monitoring of the change of the plasma state is carried out by introducing high-frequency power into the plasma under processing, and measuring reflected wave power. Thus, it is possible to carry out plasma treatment, carrying out monitoring of the fluctuation of the plasma state, as a result the processing state inside [ chamber 1 ] plasma treatment equipment by high sensitivity by carrying out monitoring. Moreover, since installation or measurement of high-frequency power or reflected wave power is carried out through the transparency aperture 22 or tube 32 which consists of dielectric materials, it is hardly influenced in the plasma monitoring section of the film under plasma treatment of deposition.

[0047] In addition, in the example in this description (plasma treatment equipment and plasma monitoring apparatus), although one antenna 24 performed installation of high-frequency power, and measurement of reflected wave power, you may carry out by dividing into two or more antennas which approach mutually, respectively.

[0048]

[Example] (Example 1) Etching processing of the MoW substrate was carried out using the plasma treatment equipment shown in drawing 1. And the inside of etching, and after etching, high-frequency power was introduced into the chamber 1 interior, reflected wave power was measured, and it asked for the absorption frequency. Etching is SF<sub>6</sub> / O<sub>2</sub> as gas for plasma. It introduced by 100/100sccm, respectively, gas pressure was maintained at 20mTorr (s), and it carried out, using 600W as high-frequency power for plasma. Moreover, the thing of the configuration using the transparency aperture 22 which consists of a quartz as shown in drawing 2 was used for the plasma monitoring section 20.

[0049] An example of the result of having measured reflected wave power during etching to drawing 6 is shown. The axis of abscissa of drawing 6 is the frequency of the high-frequency power introduced to the chamber 1 interior, and an axis of ordinate is a reflection coefficient ratio. The absorption frequency corresponding to the peak of the minimal value of a reflection coefficient ratio is located in about 0.85GHz so that drawing 6 may show. Drawing 7 is an example of the result of having measured reflected wave power after etching termination. The absorption frequency is located in about 0.75GHz so that drawing 7 may show. Only about 0.1GHz of absorption frequencies after etching is shifted to a low frequency side rather than the absorption frequency under etching so that these results may show. Thus, it turned out that the terminal point of etching is detectable, and the effectiveness of this invention was confirmed by this invention.

[0050] (Example 2) The plasma was generated in the chamber 1 using the equipment shown in drawing 1. Then, the plasma state was observed using the plasma monitoring section 20 of a configuration of being shown in drawing 4, and the data of the reflected wave power accompanied by two or more absorption frequencies shown in drawing 5 were measured. And the correlation of the frequency between the peak which moves with the location of a coaxial cable 23, and the peak which does not move was searched for.

[0051] The plasma introduced SF<sub>6</sub>, O<sub>2</sub>, SF<sub>6</sub> / O<sub>2</sub>, and Ar by 100 - 200sccm, respectively, maintained gas pressure at 10 - 20mTorr, and was made to generate it, using 300-800W as high-frequency power for plasma. And the electron density of the plasma was variously changed by changing a quantity of gas flow, gas pressure, and high-frequency power. Moreover, the quartz tube was adopted as the dielectric tube 32, and it was used, having contacted the coaxial cable 23 to the inner surface of the point of the quartz tube 32.

[0052] An example of a measurement result is shown in drawing 8. The absorption frequency of the peak which the axis of abscissa of drawing 8 moves with a coaxial cable 23 like the peak d of drawing 5, and an axis of ordinate are

the absorption frequencies of a peak like the peak a of drawing 5 which does not move. The result of drawing 8 showed that there was beautiful proportionality among both peaks. And when using this proportionality and formula (1), it has checked that it could ask for the electron density of the plasma easily and promptly from data like drawing 5 measured during monitoring.

[0053] (Example 3) The relation between the location of the core wire 24 (antenna) in the tube 32 shown in drawing 4 and a reflection coefficient ratio was measured using the equipment of drawing 1. The plasma was generated on condition that  $Ar=50\text{sccm}$ ,  $10\text{mTorr}$ , and  $200\text{W}$ . Moreover, the antenna 24 used the thing of the shape of linear [ with a die length of  $6\text{mm}$  ]. An example of a measurement result is shown in drawing 9, although only two peaks B and D are generated when antenna 24 point touches the tube inner surface ( $X=0\text{mm}$  of drawing) so that clearly from drawing 9 — an antenna 24 — from tube 32 inner surface — separating ( $X=6\text{mm}$  of drawing,  $10\text{mm}$ ) — the three peaks A, B, and D occur. The frequency of Peaks B and D is larger than any peak when the peak D by the side of the RF generated when it changes with the locations of an antenna 24 and the antenna 24 touches tube 32 inner surface changes the location of an antenna 24. From this, the antenna 24 under monitoring, i.e., the location of a core wire 24, was understood that fixing in the tube 32 interior is desirable. Moreover, it was checked that it is desirable that it is in contact with the inner surface of tube 32 point as for antenna 24 point. All the following examples contacted the point of an antenna 24 to tube 32 inner surface, and performed it.

[0054] (Example 4) The relation of the contamination condition of tube 32 outside surface and the absorption coefficient of high-frequency power which are shown in drawing 4 was investigated using the equipment of drawing 1. Where a tube 32 is inserted in the plasma chamber of a RIE method, contamination of tube 32 outside surface formed the plasma in the lifting and tube 32 outside surface, and performed the deposit for it to them. The plasma at the time of contamination generated  $C_4F_8=50\text{sccm}$  and  $150\text{mTorr}$  in discharge of  $200\text{W}$ . On the other hand, measurement of an absorption coefficient was performed in  $Ar=50\text{sccm}$ ,  $20\text{mTorr}$ , and the plasma of  $400\text{W}$ . The thing of the shape of linear [ die length ( $3\text{mm}$  and  $10\text{mm}$ ) of ] was used for the antenna 24.

[0055] An example of a measurement result is shown in drawing 10. The axis of abscissa of drawing 10 is the assembly time at the time of contamination, and an axis of ordinate is the measured absorption coefficient. An absorption coefficient falls as the front face of a probe becomes dirty, as contamination time amount becomes long so that clearly from drawing 10 that is. When an antenna was  $3\text{mm}$ , in the contamination for about 90 minutes, an absorption coefficient was not able to detect a peak small. However, with the  $10\text{mm}$  antenna, the peak could be detected and the peak has been detected to further more long time amount for at least 90 minutes. Thus, in electron density measurement and monitoring of the deposition nature plasma, since the absorption coefficient fell by surface contamination, the antenna with more high sensibility was called for and it was checked that the one where the die length is longer has the highly sensitive configuration of an antenna in a linear-like thing.

[0056] (Example 5) The relation between the die length of the antenna 24 of 32 in a tube shown in drawing 4 and the absorption coefficient of high-frequency power was measured using the equipment of drawing 1. The linear-like thing was used for the antenna 24. The plasma was generated on condition that  $Ar=50\text{sccm}$ ,  $10\text{mTorr}$ , and  $400\text{W}$ . An example of a measurement result is shown in drawing 11. It was checked that an absorption coefficient becomes large, so that from drawing 11 (a) and the die length of an antenna 24 became long. On the other hand, as shown in drawing 11 (b), when the die length of an antenna 24 was set to about  $20\text{mm}$ , it was also confirmed that the height of the peak (peak of the minimal value of the reflection coefficient ratio of drawing) of two or more absorption coefficients becomes comparable, and identification of a peak becomes difficult. From these results, it was checked that  $8\text{mm}$  or more  $12\text{mm}$  or less is suitable for the die length of the straight-line part of an antenna 24.

[0057] (Example 6) The relation between the frequency of the high-frequency power inputted into an antenna 24 and an absorption coefficient was investigated using the tube 32 and antenna 24 which are shown in the equipment of drawing 1, and drawing 4. Under  $Ar=50\text{sccm}$  and  $10\text{mTorr}$ , the plasma changed RF power (namely, frequency) variously, and generated it. The thing of the shape of linear [ with a die length of  $10\text{mm}$  ] was used for the antenna 24.

[0058] An example of a measurement result is shown in drawing 12. It was confirmed that an absorption coefficient falls, so that drawing 12 might show and the electron density-like a frequency being small (i.e., the plasma) (RF power being small) was small.

[0059] On the other hand, when the frequency was raised, although the absorption coefficient also increased, two or more peaks about  $800\text{W}$  occurred. Since the frequency of high-frequency power became large and wavelength became short as mentioned above, this is considered to be because for the wave in the excessive mode to have occurred. Thus, about the linear-like antenna 24, it was confirmed to the plasma with large electron density that the shorter one of die length is good.

[0060] (Example 7) The relation between the configuration of the antenna 24 within the tube 32 shown in drawing 4 and the absorption coefficient of high-frequency power was measured using the equipment of drawing 1. It fixed to about  $3.0\text{mm}$  and the die length of the straight-line part of each antenna 24 was measured about each antenna configuration of the shape of linear, a L character mold point, and a T character mold point. The plasma was generated on condition that  $Ar=50\text{sccm}$ ,  $20\text{mTorr}$ , and  $500\text{W}$ .

[0061] An example of a measurement result is shown in drawing 13. It was checked that the L character mold has an absorption coefficient higher than the shape of linear so that clearly from drawing 13. Moreover, when the die length of a L character part and a T character part was the same, it was confirmed that the antenna 24 of a T character mold has an absorption coefficient still higher than a L character mold. Furthermore, it was also checked that an absorption coefficient becomes high, so that the L character part or the T character part became long.

respectively.

[0062] (Example 8) The relation between the configuration of the point of the tube 32 shown in drawing 4 and the thickness at a head, and the absorption coefficient of high-frequency power was measured using the equipment of drawing 1. That in which the head was confined on the curved surface as shown in drawing 14 (a), and the thing in which the head was confined at the flat surface as shown in drawing 14 (b) were used for the tube 32. In the product made from a quartz, the outer diameter was 8mm and each tube 32 of the bore was 5mm, respectively. The thing of the shape of linear [ with a die length of 3mm ] was used for the antenna 24. It was made to generate on condition that the plasma, Ar=60sccm, 7.6mTorr, and 400W.

[0063] First, when the thickness at a head measured the absorption coefficient about both the equal tubes 32, the direction of the tube 32 of drawing 14 (b) showed the absorption coefficient higher about 40% than the tube 32 of drawing 14 (a). From this result, it was checked that it is [ an absorption coefficient ] higher to use the tube 32 by which the head was stopped at the flat surface.

[0064] Next, the thickness at the head of the tube 32 of drawing 14 (b) was changed, and the absorption coefficient was measured. An example of a measurement result is shown in the following table 1.

[0065]

[A table 1]

先端厚み (mm)	3	5	10	15
吸収率 (dB)	1.95	0.44	0.24	0.2

[0066] It was confirmed that an absorption coefficient is so large that the thickness of the point of a tube 32 is small so that clearly from the top table 1.

[0067]

[Effect of the Invention] As mentioned above, according to this invention, the plasma treatment approach which can be processed carrying out monitoring of the effect of film deposition while processing fluctuation of the inner surface condition of plasma treatment equipment by high sensitivity without hardly winning popularity, its equipment, and a plasma monitoring apparatus can be offered as explained in full detail. According to this invention, a stage [ need / plasma treatment equipment / to be maintained ] can be detected, and the stage to return to the condition that the equipment immediately after maintenance termination can resume plasma treatment can also be detected.

[Translation done.]

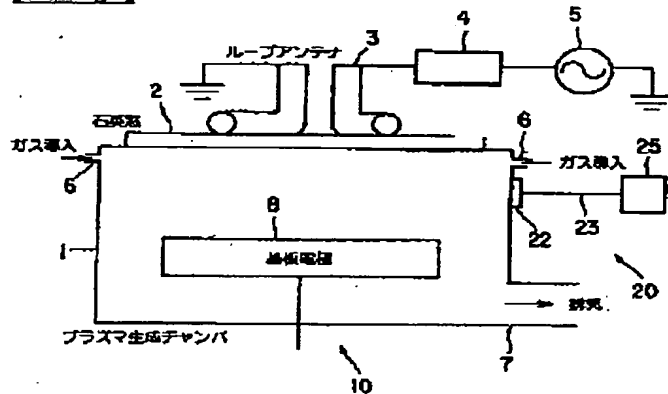
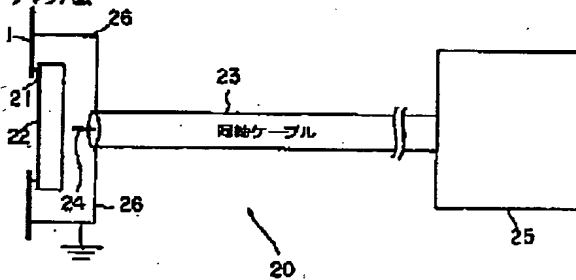
## \* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

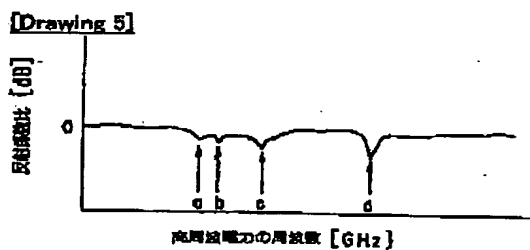
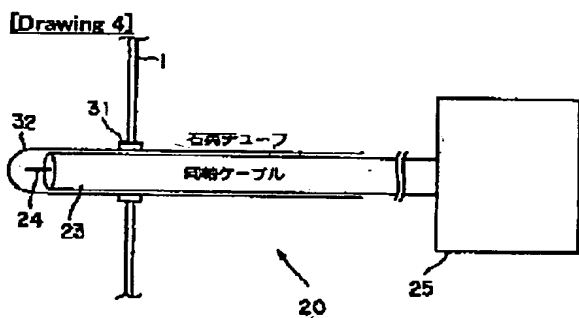
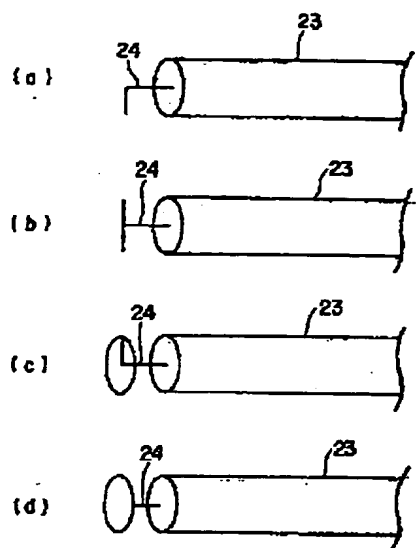
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

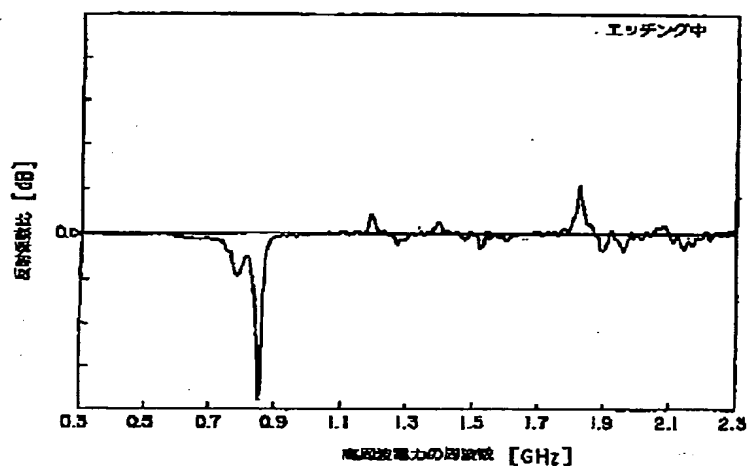
[Drawing 1]

[Drawing 2]  
チャンバ壁

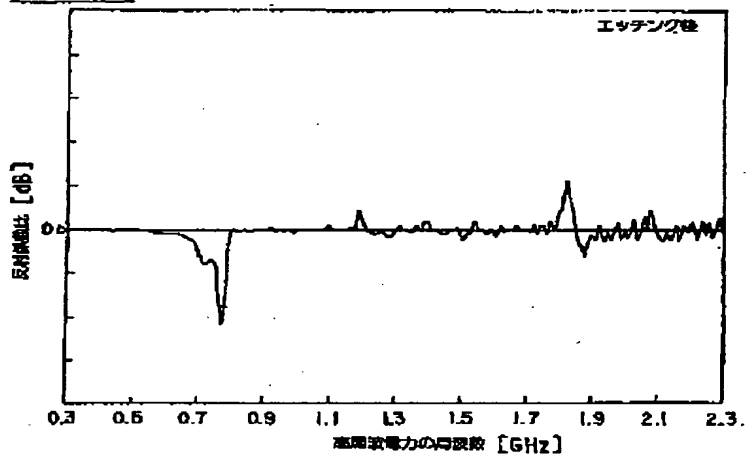
[Drawing 3]



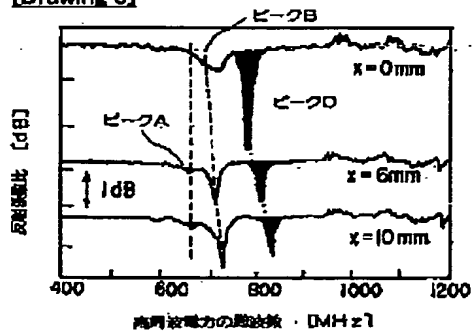
[Drawing 6]



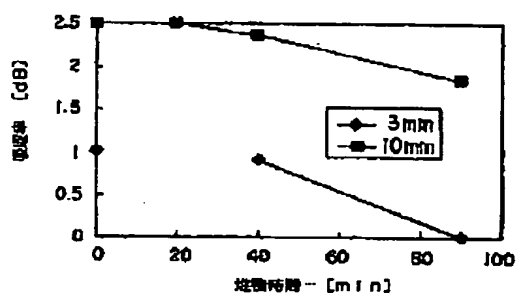
[Drawing 7]



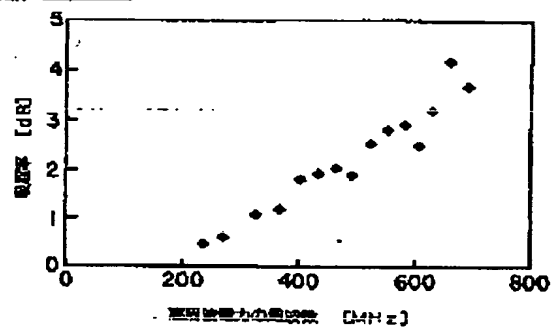
[Drawing 9]



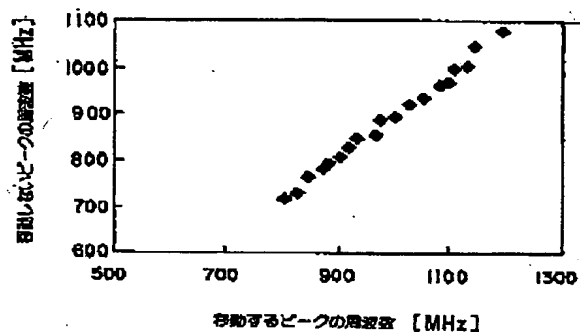
[Drawing 10]



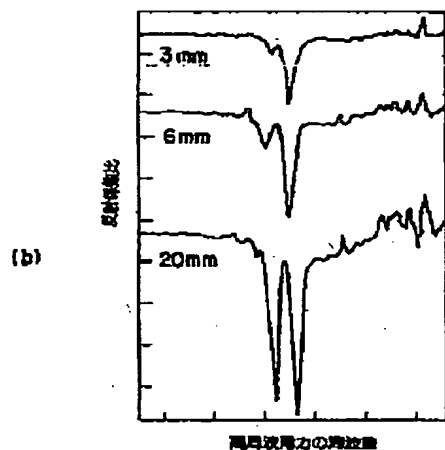
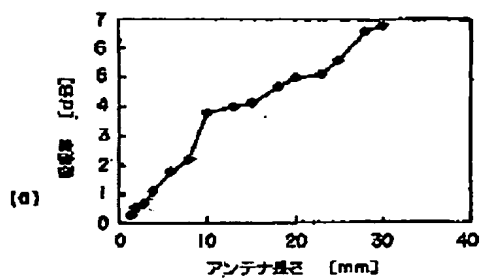
[Drawing 12]



[Drawing 8]



[Drawing 11]

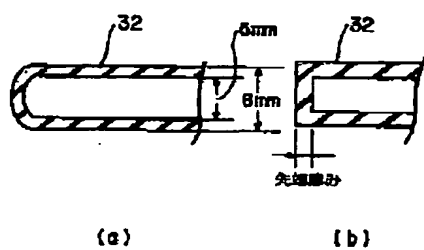


[Drawing 13]

直線長さ3mm 	直線長さ3mm L字長さ3mm 	直線長さ3mm T字長さ3mm 
0.4dB	0.8dB	1.0dB
	直線長さ3mm L字長さ5mm 	直線長さ3mm T字長さ5mm 
	1.4dB	1.8dB
	直線長さ2.5mm L字長さ5.5mm 	直線長さ3mm T字長さ7mm 
	1.8dB	2.5dB

[Drawing 14]





[Translation done.]

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-340550

(P2000-340550A)

(43)公開日 平成12年12月8日(2000.12.8)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード <sup>*</sup> (参考)
H 0 1 L 21/3065		H 0 1 L 21/302	E 5 F 0 0 4
H 0 5 H 1/00		H 0 5 H 1/00	A
1/46		1/46	L
		H 0 1 L 21/302	B

審査請求 未請求 請求項の数23 O L (全 13 頁)

(21)出願番号 特願平11-246175

(22)出願日 平成11年8月31日(1999.8.31)

(31)優先権主張番号 特願平11-81303

(32)優先日 平成11年3月25日(1999.3.25)

(33)優先権主張国 日本(JP)

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 戸野谷 純一

神奈川県横浜市磯子区新磯子町33番地 株  
式会社東芝生産技術センター内

(72)発明者 福水 裕之

神奈川県横浜市磯子区新磯子町33番地 株  
式会社東芝生産技術センター内

(74)代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

Fターム(参考) 5F004 BA04 BA14 BB13 BB18 CB06

DA00 DA18 DA23 DA26 DB12

(54)【発明の名称】 プラズマ処理方法、プラズマ処理装置およびプラズマモニタリング装置

(57)【要約】

【課題】 プラズマ処理装置のチャンバ内部の処理状態の変動を処理中の膜堆積の影響を殆ど受けずに高感度でモニタリングしながらプラズマ処理することが可能なプラズマ処理方法およびプラズマ処理装置を提供する。

【解決手段】 プラズマ処理容器中でプラズマを発生させて所定の処理を行うプラズマ処理方法であって、前記プラズマへ高周波電力を周波数を変えながら導入してプラズマからの反射波電力を求め、反射波電力の極小値に対応する高周波電力の周波数を検出し、プラズマ処理中の前記周波数の変化に基づいてプラズマの状態をモニタリングすることを特徴とするプラズマ処理方法およびプラズマ処理装置。

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 プラズマ処理容器中でプラズマを発生させて所定の処理を行うプラズマ処理方法であって、前記プラズマへ高周波電力を周波数を変えながら導入してプラズマからの反射波電力を求め、反射波電力の極小値に対応する高周波電力の周波数を検出し、プラズマ処理中の前記周波数の変化に基づいてプラズマの状態をモニタリングすることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 2】 前記処理がプラズマクリーニングであることを特徴とする請求項 1 記載のプラズマ処理方法。

【請求項 3】 前記処理がプラズマエッチングであることを特徴とする請求項 1 記載のプラズマ処理方法。

【請求項 4】 前記処理がプラズマアッシングであることを特徴とする請求項 1 記載のプラズマ処理方法。

【請求項 5】 プラズマ処理容器と、  
プラズマ処理容器に設けられた透過窓と、  
透過窓を通してプラズマへ導入するための高周波電力を放出する機能を持つ第 1 のアンテナと、  
前記透過窓を通過したプラズマからの反射波電力を検知する機能を持つ第 2 のアンテナと、  
前記第 1 のアンテナへ高周波電力を周波数を変化させながら導入し、前記第 2 のアンテナで検知した反射波電力の極小値に対応する高周波電力の周波数を検出する検出手段とを具備することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 6】 前記第 1 のアンテナと前記第 2 のアンテナとがそれぞれ持つ前記機能を 1 本のアンテナに持つことを特徴とする請求項 5 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 7】 前記アンテナの先端部は前記窓と接触することを特徴とする請求項 5 または 6 項記載のプラズマ処理装置。

【請求項 8】 プラズマ処理容器と、  
プラズマ処理容器内に挿入された、先端が封じられた誘電体チューブと、  
誘電体チューブ内に挿入され、前記チューブを通してプラズマへ導入するための高周波電力を放出し、前記チューブを通過したプラズマからの反射波電力を検知するアンテナと、  
前記アンテナへ高周波電力を周波数を変化させながら導入し、前記アンテナで検知した反射波電力の極小値に対応する高周波電力の周波数を検出する検出手段とを具備することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 9】 前記アンテナの先端部は前記チューブの先端部の内面と接触することを特徴とする請求項 8 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 10】 前記アンテナは直線形状であることを特徴とする請求項 5 ないし 9 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 11】 前記アンテナの先端部は L 字型をなすことを特徴とする請求項 5 ないし 9 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 12】 前記アンテナの先端部は T 字型をなす

ことを特徴とする請求項 5 ないし 9 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 13】 前記アンテナの先端部はループをなすことを特徴とする請求項 5 ないし 9 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 14】 前記アンテナの先端部は平板を有することを特徴とする請求項 5 ないし 9 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 15】 前記アンテナと前記検出手段との間に、特定の周波数をカットするためのフィルターが配置されることを特徴とする請求項 5 ないし 14 いずれか 1 項記載のプラズマ処理装置。

【請求項 16】 処理中のプラズマへ導入する高周波電力を放出する第 1 のアンテナと、プラズマからの反射波電力を検知するためにプラズマ処理容器に取り付けられる第 2 のアンテナと、  
前記第 1 のアンテナへ高周波電力を周波数を変化させながら導入し、前記第 2 のアンテナで検知した反射波電力の極小値に対応する高周波電力の周波数を吸収周波数として検出する検出手段とを具備することを特徴とするプラズマモニタリング装置。

【請求項 17】 前記第 1 のアンテナと前記第 2 のアンテナとがそれぞれ持つ前記機能を 1 本のアンテナに持つことを特徴とする請求項 16 記載のプラズマモニタリング装置。

【請求項 18】 前記アンテナは直線形状であることを特徴とする請求項 16 または 17 記載のプラズマモニタリング装置。

【請求項 19】 前記アンテナの先端部は L 字型をなすことを特徴とする請求項 16 または 17 記載のプラズマモニタリング装置。

【請求項 20】 前記アンテナの先端部は T 字型をなすことを特徴とする請求項 16 または 17 記載のプラズマモニタリング装置。

【請求項 21】 前記アンテナの先端部はループをなすことを特徴とする請求項 16 17 記載のプラズマモニタリング装置。

【請求項 22】 前記アンテナの先端部は平板を有することを特徴とする請求項 16 または 17 記載のプラズマモニタリング装置。

【請求項 23】 前記アンテナと前記検出手段との間に、特定の周波数をカットするためのフィルターが配置されることを特徴とする請求項 16 ないし 22 いずれか 1 項記載のプラズマモニタリング装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体デバイスの製造や液晶ディスプレイ用の薄膜トランジスタ等の電子デバイスの製造で用いられるプラズマ処理方法、プラズマ処理装置およびプラズマモニタリング装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】半導体デバイスの製造や液晶ディスプレイ用の電子デバイスの製造においては、プラズマを用いたドライエッチングによる微細加工が頻繁に用いられる。異なる材料の薄膜が重ねられた多層膜をドライエッチングする際には、エッチングの終点検出が重要である。

【0003】通常、ドライエッチングの終点検出は、薄膜に入射した光からの反射光の強度変化や光の干渉を利用して、またはプラズマからの発光スペクトル線の強度変化を利用して行われる。前者の反射光等を利用した方法は、光路を確保するための特別な装置が必要となることが多い。そのため、一般には後者の発光スペクトル線の強度変化を利用する発光分光法が多く用いられる。

【0004】しかし、発光分光法を利用した終点検出では、エッチング面積が小さくなるとエッチングによる反応生成物の量が少なくなるため、エッチング終点での検出感度が低下するという問題がある。例えば、反応生成物中のラジカルの発光強度をモニターする場合には、エッチング終点での発光スペクトル線の強度変化が小さすぎて、検出感度が小さくなる。また、プラズマ中のラジカルなどの発光は、透明な窓を通して検出されるが、窓の光透過率はエッチングガスや反応生成物の堆積によって低下する。そのため、発光分光法では、エッチング処理量の増大に伴い終点検出ができなくなる場合があるという問題がある。

【0005】そこで、発光分光法よりも高感度であり、またプラズマプロセス中に起こる膜堆積の影響を受けにくいエッチング終点検出方法が求められている。

【0006】一方、プラズマを用いたドライエッチング装置では、プロセスの安定化を図ることが重要である。そのために、ガス流量、圧力、高周波電力、温度等のプロセスパラメーターの変動を抑えるとともに、装置のチャンバ内部での処理状態を一定に保つことが必要とされている。

【0007】前者のプロセスパラメーターの変動に対しては、通常、その変動量を常にモニタリングしている。そして、変動量が所定の値を越えると装置のインターロックが働いてプロセスが停止し、成膜や加工の不良を未然に防ぐようにしている。後者の装置のチャンバ内部の処理状態の変動に対しては、これを検出する有効手段がほとんどない。そのため、通常は一定の処理時間の後に装置のチャンバ内部をクリーニングして処理を初期化することが多い。このクリーニングには、チャンバ内を真空に保ったまま行うプラズマクリーニングと、チャンバを大気解放して各パーツを薬液等で洗浄するウェットクリーニングがある。プラズマクリーニングは、クリーニング時間を決めて行うことが多い。しかし、どちらのクリーニングを行うにせよ、装置の稼働率を低下させる要因となるため、短時間で確実な初期化が必要とされてい

る。

【0008】そこで、装置のチャンバ内部の処理状態の変動を検出する方法が求められている。また、プラズマクリーニングにおいては、クリーニングによるチャンバ内壁の状態の変化をモニタして初期化の終了が確認できる方法が求められている。

## 【0009】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、プラズマ処理装置のチャンバ内部での処理状態の変動を処理中の膜堆積の影響を殆ど受けずに高感度でモニタリングしながらプラズマ処理することが可能なプラズマ処理方法、プラズマ処理装置、およびプラズマモニタリング装置を提供することを目的とする。

## 【0010】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、プラズマ処理容器中でプラズマを発生させて所定の処理を行うプラズマ処理方法であって、前記プラズマへ高周波電力を周波数を変えながら導入してプラズマからの反射波電力を求め、反射波電力の極小値に対応する高周波電力の周波数を検出し、プラズマ処理中の前記周波数の変化に基づいてプラズマの状態をモニタリングすることを特徴とするプラズマ処理方法が提供される。

【0011】また、本発明によれば、プラズマ処理容器と、プラズマ処理容器に設けられた透過窓と、透過窓を通してプラズマへ導入するための高周波電力を放出する機能を持つ第1のアンテナと、前記透過窓を通過したプラズマからの反射波電力を検知する機能を持つ第2のアンテナと、前記第1のアンテナへ高周波電力を周波数を変化させながら導入し、前記第2のアンテナで検知した反射波電力の極小値に対応する高周波電力の周波数を検出する検出手段とを具備することを特徴とするプラズマ処理装置が提供される。

【0012】また、本発明によれば、プラズマ処理容器と、プラズマ処理容器内に挿入された、先端が封じられた誘電体チューブと、誘電体チューブ内に挿入され、前記チューブを通してプラズマへ導入するための高周波電力を放出し、前記チューブを通過したプラズマからの反射波電力を検知するアンテナと、前記アンテナへ高周波電力を周波数を変化させながら導入し、前記アンテナで検知した反射波電力の極小値に対応する高周波電力の周波数を検出する検出手段とを具備することを特徴とするプラズマ処理装置が提供される。

【0013】また、本発明によれば、処理中のプラズマへ導入する高周波電力を放出する第1のアンテナと、プラズマからの反射波電力を検知するためにプラズマ処理容器に取り付けられる第2のアンテナと、前記第1のアンテナへ高周波電力を周波数を変化させながら導入し、前記第2のアンテナで検知した反射波電力の極小値に対応する高周波電力の周波数を吸収周波数として検出する検出手段とを具備することを特徴とするプラズマモニタ

リング装置が提供される。

【0014】本発明においては、前記第1のアンテナと前記第2のアンテナとがそれぞれ持つ前記機能を1本のアンテナに持つことが好ましい。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、本発明を図面を参照して詳細に説明する。図1は、本発明に係るプラズマ処理装置の一例を示す概略断面図である。本発明に係るプラズマ処理装置は、プラズマ処理部10とプラズマモニタリング部20とを備える。

【0016】プラズマ処理部10は、当該技術分野において良く知られているプラズマを発生させて所定の処理を行う装置、例えば、マイクロ波励起方式、ECR（電子サイクロトロン共鳴）方式、ICP（誘導結合型プラズマ）方式、ダウフロー方式、平行平板方式などのプラズマ処理装置を指している。これらの装置は、例えば、プラズマエッチング装置、プラズマクリーニング装置、プラズマアッシング装置などに用いられる。

【0017】図1は、例としてICP方式のプラズマ処理部10を用いた装置を示す。図1において、チャンバ1には石英窓2が設けられている。石英窓2の外側には、ループアンテナ3が取り付けられ、ループアンテナ3は整合器（マッチングボックス）4を介してプラズマ用高周波電源5に接続されている。電源5で発生した高周波電力は、整合器4でインピーダンスマッチングされた後に、ループアンテナ3から石英窓2を通してチャンバ1内に導入される。また、チャンバ1内には、チャンバ1内にガス供給源（図示せず）からのプラズマ用ガスを導入するためのガス導入口6と、チャンバ1内を排気ポンプ（図示せず）によって排気するための排気口7が設けられている。さらに、チャンバ1内には、シリコンウェハーなどの被処理物を載置するための載置台を兼ねた基板電極8が設けられている。

【0018】本発明に係るプラズマモニタリング部20は、プラズマ処理部10が処理を行う間、プラズマ状態をモニタリングするためのものである。図2は、プラズマモニタリング部20の一例を示す概略図である。図2において、プラズマ処理装置のチャンバ1壁の開口部に、シール部材21を介して透過窓22が取り付けられている。透過窓22の大気側の表面の近傍には、または前記表面に接触して、同軸ケーブル23の一端が配置され、この一端には内部導体である芯線24が露出している。同軸ケーブル23の他端は、検出手段25に接続されている。同軸ケーブル23の外部導体は、図示しない絶縁材によって内部導体24と絶縁され、接地線26によってチャンバ1とともに接地されている。

【0019】透過窓22は、後述するように芯線24から放出される高周波電力をプラズマ内へ導入し、またプラズマからの反射波電力を大気側へと取出すためのものである。透過窓22を形成する材料は、チャンバ1内の

真空雰囲気を維持でき、プラズマによる損傷を受けず、高周波電力および反射波電力を透過させる誘電体材料である。このような材料は、例えば、石英、酸化アルミ

(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、窒化アルミ(AlN)、および窒化ボロン(BN)などの無機物、または、ポリイミド、およびポリエーテルエチルケトンなどのエンジニアリングプラスチックなどの有機物である。透過窓22の厚みなどの形状は、モニタリングするプラズマ処理の種類、使用する高周波電力の周波数などに応じて適切なものを選ぶ。透過窓22の厚みは、例えば5mmであるが、一般に薄い方が好ましい。それは、後述するように、プラズマによって反射されずに吸収される高周波電力の割合（以下、吸収率と言う）が増加するため、モニタリングが容易になるからである。

【0020】同軸ケーブル23の露出する芯線24は、高周波電力を放射し、プラズマからの反射波電力を検出するためのアンテナとして作用する。後述する検出手段25からの高周波電力は、同軸ケーブル23によって伝達されたのち芯線24から放出されて、透過窓22を通してチャンバ1内に導入される。高周波電力の周波数は、例えば1~10GHzである。チャンバ1内に導入された高周波電力は、ある特定の周波数（吸収周波数と言う）のときに吸収される以外は、プラズマによって反射されて、透過窓22を通して大気側へ取り出される。取り出された反射波電力は芯線24によって検知され、同軸ケーブル23を通して検出手段25へ送られる。

【0021】アンテナ24は、例えば、図2に示す直線形状の他に、図3に示すような先端部がL字型をなすもの（図3(a)）、先端部がT字型をなすもの（図3(b)）、先端部がループ（スパイラルを含む）をなすもの（図3(c)）、または先端部が平板を有するもの（図3(d)）などがある。図2に示した直線形状のアンテナ24においては、直線部分が長いほど、高周波電力の吸収率が増加し、また高周波電力の吸収が起きる吸収周波数の数（吸収ピークの数）が増加する。アンテナ24の長さは、好ましくは2mm以上であり、より好ましくは8ないし12mmである。長さが2mmを下回ると高周波電力の吸収率が低すぎて、モニタリングが困難となる。長さが12mmを上回ると、吸収ピークの数が多すぎて同定が難しくなり、やはりモニタリングが困難になる。特に、電子密度の大きいプラズマに対してはその傾向が強いため、長さは短い方が良い。

【0022】ところで、プラズマの電子密度が小さいときは、吸収率は低下する。また、プラズマの電子密度はチャンバ壁の付近では低くなるような分布を有するため、チューブ32がチャンバ1の壁に近づくと、やはり吸収率が低下する。さらに、チューブ32表面がプラズマによって汚染される場合には、汚染が進むにつれて吸収率が低下する。このように、電子密度が小さいプラズマやプローブの表面を汚染するようなプラズマについて

電子密度の測定やモニタリングを行うときには、アンテナ24の形状やチューブ32の形状を適正化して吸収率を大きくし、測定感度を上げる必要がある。

【0023】このような観点から、図2に示す直線形状よりも図3に示す各形状のものの方が好ましい。図3に示す形状では、透過窓22に対向するアンテナ24の領域、言い換えれば、透過窓22に投影されるアンテナ24の領域が増加する。そのため、アンテナ24から透過窓22を介してプラズマ中へ導入される高周波電力の割合が増加する。その結果、高周波電力の吸収率も増加してモニタリングが容易になる。従って、図3に示す形状においては、透過窓22に対向するL字、T字、およびループの部分は長い方が、また平板の部分は大きい方が、それぞれ好ましい。その際、直線部分はなるべく短い方が好ましい。短くすることで、電子密度等のプラズマモニタリングの空間分解能の低下を抑え、また直線形状のアンテナの所で述べたような吸収率の大きい複数のピークの発生を抑えられるためである。また、L字、T字、ループ、および平板の各部分は透過窓22に対して平行になるように形成されることが好ましい。また、L字とT字の部分の長さが同じ場合には、L字型よりもT字型のアンテナ24の方が、高周波電力の吸収率が増加するため好ましい。

【0024】図2において、アンテナ24の先端部は、透過窓22の大気側の表面と接触する方が好ましい。接触することで、後述するように、吸収周波数の数が最少なく吸収率が最も高いため、モニタリングが容易になる。

【0025】検出手段25は、アンテナ24へ高周波電力を周波数を変化させながら導入し、アンテナ24で検出した反射波電力の極小値に対応する高周波電力の周波数を検出する。前述したように、吸収周波数のときに高周波電力はプラズマによって吸収されるため、反射波電力の値が極小となる。すなわち、検出手段25は吸収周波数を検出する。検出手段25は、例えばネットワークアナライザなどである。ネットワークアナライザは、周波数を掃引しながら高周波電力を発生させる機能、高周波電力を発生させながら同時に反射波電力を測定する機能、測定された反射波電力から吸収周波数を検出する機能を備えている。また、該アナライザは、所定の時間間隔ごとに、周波数を掃引しながら高周波電力を発生させて吸収周波数を求める機能も有する。

【0026】アンテナ24と検出手段25との間の同軸ケーブル23に、特定の周波数をカットするためのフィルターが配置されていることが好ましい。こうすることで、チャンバ1内にプラズマを起こすための高周波電力が、反射波電力の測定値に混入してノイズとなることを防止することができる。このようなフィルターは、ハイパスフィルター、ローパスフィルター、およびバンドパスフィルターなどである。

【0027】図4は、プラズマモニタリング部20の他の例を示す概略図である。なお、説明を簡単にするために、図4の構成のモニタリング部20は図1には示していない。図4において、プラズマ処理装置のチャンバ1内にシール部材31を介して誘電体チューブ32が挿入されている。誘電体チューブ32内には、図2で示した同軸ケーブル23の一端が挿入され、他端は図2に示した検出手段25に接続されている。同軸ケーブル23の露出する芯線24は、チューブ32の先端部の内面の近傍に、または内面に接触して、配置されている。図示していないが、図4の同軸ケーブル23の外部導体も、図2に示す同軸ケーブル23と同様に、チャンバ1とともに接地されている。誘電体チューブ32を形成する材料は、図2に示す透過窓22を形成する材料と同様の誘電体材料である。誘電体チューブ32を構成する誘電体の厚みなどの形状も、モニタリングするプラズマ処理の種類、使用する高周波電力の周波数などによって、適切なものを選ぶ。チューブ32の厚み、特に先端部の厚みは、透過窓22と同様に一般に薄い方が好ましい。チューブ32の先端部の厚みは、例えば2mmである。また、図4に示す誘電体チューブ32の先端は曲面で封じられているが、チューブ32の先端は平面で封じられている方が好ましい。こうすることで、やはりプラズマによる高周波電力の吸収率が増加する。

【0028】図4に示した芯線24も、図2の芯線24と同様に、高周波電力を放射して反射波電力を検知するためのアンテナとして作用する。つまり、芯線24から放射された高周波電力は誘電体チューブ32を透過してチャンバ1内のプラズマへ導入され、プラズマからの反射波電力は誘電体チューブ32を透過した後に芯線24によって検知される。

【0029】図4のアンテナ24の形状および長さなどは、図2および図3に示したアンテナ24と同様である。図4のアンテナ24の先端部も、チューブ32の先端部の内面に接触する方が好ましい。なお、チューブ32の先端が平面でなく曲面で封じられているときには、その曲面に合うようにアンテナ24の先端部を変形させることが好ましい。こうすることで、チューブ32の先端が曲面であっても、アンテナ24の先端部をチューブ32の先端部の内面に十分に接触させることができる。

【0030】なお、図4に示す形態のプラズマモニタリング部20よりも、図2に示したモニタリング部20の方が好ましい。図4の誘電体チューブ32はチャンバ1内に挿入して用いるが、図2の透過窓22はチャンバ1の壁に取り付けるだけである。そのため、図2のモニタリング部20の方が、モニタリング中にプラズマに与える影響がより少ないからである。

【0031】次に、図1に示した装置の動作を説明する。まず、プラズマ処理部10は以下のようにしてプラズマ処理を行う。最初にチャンバ1内を排気口7を通し

て排気して所定の圧力にした後に、ガス供給源（図示せず）からガス導入口6を通してチャンバ1内にプラズマ用ガスを導入する。プラズマ発生用の高周波電力を石英窓2を通してチャンバ1内に導入してプラズマ用ガスをイオン化し、プラズマを発生させる。発生したプラズマによって基板電極8上の被処理物がプラズマ処理される。

【0032】プラズマモニタリング部20は、以下のようにしてプラズマをモニタリングする。検出手段25からの高周波電力を周波数を変えながらチャンバ1内部に導入して、同時に検出手段25によってチャンバ1内部のプラズマからの反射波電力を測定する。そして、反射波電力の極小値に対応する吸収周波数を検出する。後述するように、吸収周波数はチャンバ1内部のプラズマの状態を反映する相関関係を有する。従って、吸収周波数を繰り返して検出してこの周波数の時間の経過に伴う変化を観測することにより、プラズマ処理中のプラズマ状態をモニタリングすることができる。

【0033】また、透過窓22および誘電体チューブ32が前述したように誘電体材料によって形成されていることによって、プラズマ処理中に透過窓22およびチューブ32に膜が堆積されても、高周波電力および反射波電力の透過には殆ど影響が出ない、そのため、処理中の膜堆積の影響を殆ど受けずにモニタリングすることが可能である。また、透過窓22およびチューブ32が誘電体材料から形成されていることによって、プラズマ処理中のチャンバ1の内壁および被処理物などを金属汚染することなく、プラズマをモニタリングすることができる。

【0034】上述したプラズマモニタリング部20は、図2および3に示したような構成の他に、検出手段25で求めた吸収周波数を所定の時間間隔ごとに入力して、この周波数の変化を自動的にモニタリングするためのモニタリング手段をさらに備えていても良い。モニタリング手段は、検出手段25で検出される吸収周波数の値が時間の経過とともにシフトして予め設定した範囲から外れたときに、外部に所定の表示を出す機能、または後述するプラズマ調整手段などへ所定の信号を送る機能を有する。モニタリング手段は、例えば所定のプログラミングがされたコンピューターなどである。

【0035】なお、吸収周波数のモニタリングとしては、以下の方法を採用しても良い。すなわち、検出手段25において周波数を固定して高周波電力をチャンバ1内部へ導入しながら同時に反射波電力の値を測定する。そして、測定される反射波電力の値の変化をモニタリング手段でモニタリングする。固定された高周波電力の周波数には、例えばプラズマ処理中に検出手段25によって一番最初に検出された吸収周波数の値を用いる。このように吸収周波数における反射波電力の変化をモニタリングすることによっても、吸収周波数の変化を観測する

ことができる。それは、吸収周波数における反射波電力は極小値を示しており、吸収周波数がシフトすれば反射波電力の値は極小値から増加するためである。モニタリング装置は、反射波電力の値がシフトして予め設定した範囲から外れたときに、外部に所定の表示を出したり、または後述するプラズマ調整手段などへ所定の信号を送る。

【0036】プラズマモニタリング部20は、さらに必要であれば、処理中のプラズマ状態を調整するためのプラズマ調整手段をさらに備えていても良い。このプラズマ調整手段は、モニタリング手段からの信号を受けて、処理中のプラズマの状態を調整する。このプラズマ調整手段も、先のモニタリング手段と同様に、例えば所定のプログラミングがされたコンピューターなどからなる。プラズマ調整手段は、例えば、図1に示すプラズマ用高周波電源5、整合器4、またはガス供給源（図示せず）と接続されている。そして、モニタリング手段から信号を受けたときに、これらの構成の少なくとも1つの動作パラメータを調整して、チャンバ1内部のプラズマ状態を調整する。調整するパラメータとしては、例えば、高周波電源5で発生させる高周波電力の電圧もしくは周波数、ガス供給源（図示せず）から供給するガスの流量などである。

【0037】プラズマ調整手段でプラズマ状態を調整することによって、例えばプラズマ処理部10でのプラズマ処理を適切なタイミングで停止することができる。具体的には、プラズマエッチング処理の停止、プラズマクリーニング処理の停止、プラズマアッシング処理の停止などを行うことができる。言い換えれば、プラズマエッチングの終点（エンドポイント）の検出、プラズマクリーニングの終了時点の検出、またはプラズマアッシングの終了時点の検出などを行うことができる。

【0038】なお、以上説明したプラズマモニタリング部20を構成する部材のうち、図2または3に示した同軸ケーブル23の先端部のアンテナ（芯線）24、検出手段25、また必要に応じて、モニタリング手段およびプラズマ調整手段を、まとめて外付け用のプラズマモニタリング用装置として用いても良い。このような構成のモニタリング装置を、モニタリング機能を有さない既存のプラズマ処理装置に取り付ければ、既存のプラズマ処理装置についてもプラズマをモニタリングすることができる。

【0039】なお、プラズマ処理装置が、チャンバ1内部を観測するための透明窓のための開口部を予め有する場合には、この開口部に図2の透過窓22を取り付けられれば良く、プラズマ処理装置本体に新しく開口部を設ける必要がない。従って、既存のプラズマ処理装置に対して、図2に示す構成を含むモニタリング用装置を容易に取り付けることができる。また、図1に示したようにICP方式のプラズマ処理部10の場合には、チャンパー

1の誘電体部品を透過窓22として共用しても良い。このような部品は、例えば、チャンバ1内に高周波電力を印加するための石英窓2、または基板電極8の被覆材（フォーカスリング）などである。こうすることで、透過窓22などの新たな誘電体部品を設ける必要がなくなる。

【0040】図5は、図1に示す装置を用いてプラズマを発生させ、チャンバ1内部に高周波電力を周波数を変えながら導入して反射波電力を測定したときの測定結果を模式的に示した図である。図5の横軸は高周波電力の周波数、縦軸は反射波電力を高周波電力の値で除した反射係数比である。図5に示すように、測定される反射係数比には極小値のピークが現れる（このピークの高さが、前述の高周波電力の吸収率に対応する）。前述したように、極小値が現れるのは、チャンバ1内部に導入された高周波電力の一部がプラズマに吸収されるからである。図5では、一例として複数の極小値a、b、c、dが現れる場合を示している。これらの極小値のそれぞれに対応する高周波電力の周波数が吸収周波数である。それぞれの吸収周波数は、プラズマ処理中のプラズマの変化を反映して時間とともにシフトする。このシフト量を観測することによって、処理中のプラズマ状態をモニタリングすることができる。なお、図5に示すように吸収周波数が複数あるときには、そのうちの1つの周波数に着目して、その変化をモニタリングする。

【0041】吸収周波数は、プラズマ状態に対応する量であり、より詳細にはプラズマの電子密度に対応する量である。プラズマの電子密度は、プラズマとチャンバ1内壁との間の相互作用の変動、すなわちチャンバ1内部での処理状態の変動を敏感に反映して変化する。すなわち、プラズマの電子密度は、例えば、プラズマ中の活性\*

$$n_e = (\epsilon_0 \cdot m_e / e^2) \cdot (1 + \epsilon_s) \omega^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $n_e$ は電子密度、 $\epsilon_0$ は真空中の誘電率、 $m_e$ は電子の質量、 $e$ は電子の電荷素量、 $\epsilon_s$ は誘電体チューブの誘電率、 $\omega$ は外挿点での吸収周波数である。

【0044】しかし、同軸ケーブル23の位置を動かしてピークb～dをシフトさせ、前述のように外挿点で一致する周波数を求めるのは煩雑であり時間がかかる。また、シフトしないピークaの周波数は、外挿点で一致する周波数を常に示しているわけだが、他のb～dのピークに比べて大きさが小さく、周波数の同定が難しい。

【0045】そこで、通常は、シフトするピークのうち最もその値の大きいピーク（例えばピークd）とシフトしないピークaとの間で、周波数の相関関係を測定しておく。測定は、同軸ケーブル23の位置を固定した状態で、あるガス種のプラズマに対して電子密度を様々に変化させて図5のデータを取り、これらのデータから2つのピークa、dの周波数の間の関係を求めて行う。一度この相関関係を求めておけば、プラズマのモニタリング中に測定された図5のデータから、プラズマの電子密度

\*種のチャンバ1内壁表面での失活、電子の損失、チャンバ1の内壁表面からプラズマ中への粒子の再放出等によって、プラズマ中のガス組成が変化するために変化する。より具体的には、電子密度の変化は、例えばエッチング中に反応生成物が生じたりエッチングガスの一部が反応で消費されたりしてプラズマ中のガス組成が変化するために起こる。このような電子密度の増減は、プラズマ中のガスが電子を放出しやすくなるか、取り込みやすくなるかによって変わり、エッチング材料によってその増減量が変わる。従って、吸収周波数の変化をモニタリングすることによって、処理中のプラズマ状態、ひいてはチャンバ1内部での処理状態を高感度でモニタリングすることができる。

【0042】なお、図4の構成のモニタリング部20を採用した場合には、測定される吸収周波数の値は、チューブ32の長さ方向での同軸ケーブル23の位置とともにシフトする。これは、吸収周波数の値が、誘電体チューブ32を形成する絶縁物表面付近に存在する表面波の異なるモードに対応していると考えられるからである。特に、図5に示すように吸収周波数が複数ある場合には、最も周波数の低い吸収周波数（例えば図5のピークaの周波数）は同軸ケーブル23の位置を移動させてもシフトせず、他の吸収周波数（例えば図5のピークb～dの周波数）がシフトする。これらの周波数は全て、同軸ケーブル23の芯線（アンテナ）24の先端位置を誘電チューブ32の最先端位置（チューブ32の先端部外表面の位置）に外挿した点で、値が一致する。この一致した吸収周波数は表面波共鳴周波数に一致すると考えられ、この周波数から下式（1）に従ってプラズマの電子密度を求めることができる。

【0043】

を容易にかつ迅速に求めることが可能となる。すなわち、図5のデータからピークdの周波数を求め、前記相関関係および式（1）を使って電子密度を求めれば良い。また、前述したような電子密度を求めるために同軸ケーブル23の位置を動かす必要もない。

【0046】以上、説明したように、本発明においては、処理中のプラズマに高周波電力を導入して反射波電力を測定することによって、プラズマ状態の変化をモニタリングしている。このようにモニタリングすることで、プラズマ状態、ひいてはプラズマ処理装置のチャンバ1内部での処理状態の変動を高感度でモニタリングしながらプラズマ処理することが可能である。また、誘電体材料からなる透過窓22またはチューブ32を通して高周波電力や反射波電力の導入または測定をしているため、プラズマ処理中の膜のプラズマモニタリング部への堆積の影響を殆ど受けない。

【0047】なお、本明細書中の例（プラズマ処理装置およびプラズマモニタリング装置）では、高周波電力の



導入と反射波電力の測定とを1本のアンテナ24で行ったが、それぞれ互いに近接する複数のアンテナに分けて行なっても良い。

【0048】

【実施例】（実施例1）図1に示したプラズマ処理装置を用いて、MoW基板をエッチング処理した。そして、エッチング中とエッチング後とで、チャンバ1内部に高周波電力を導入して反射波電力を測定し、吸収周波数を求めた。エッチングは、プラズマ用ガスとしてSF<sub>6</sub>、O<sub>2</sub>をそれぞれ100/100sccmで導入し、ガス圧を20mTorrに保ち、プラズマ用高周波電力として600Wを用いて行った。また、プラズマモニタリング部20には、図2に示したような石英からなる透過窓22を用いる構成のものを用いた。

【0049】図6に、エッチング中に反射波電力を測定した結果の一例を示す。図6の横軸はチャンバ1内部へ導入した高周波電力の周波数であり、縦軸は反射係数比である。図6から分かるように、反射係数比の極小値のピークに対応する吸収周波数は、約0.85GHzに位置する。図7は、エッチング終了後に反射波電力を測定した結果の一例である。図7から分かるように、吸収周波数は約0.75GHzに位置している。これらの結果から分かるように、エッチング後の吸収周波数は、エッチング中の吸収周波数よりも約0.1GHzだけ低周波数側にシフトしている。このように、本発明によってエッチングの終点を検出できることが分かり、本発明の効果が確かめられた。

【0050】（実施例2）図1に示す装置を用いてチャンバ1内にプラズマを発生させた。そのとき、図4に示す構成のプラズマモニタリング部20を用いてプラズマ状態を観測して、図5に示した複数の吸収周波数を伴う反射波電力のデータを測定した。そして、同軸ケーブル23の位置とともに移動するピークと移動しないピークとの間の周波数の相関関係を求めた。

【0051】プラズマは、SF<sub>6</sub>、O<sub>2</sub>、SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub>、Arをそれぞれ100~200sccmで導入してガス圧を10~20mTorrに保ち、プラズマ用高周波電力として300~800Wを用いて発生させた。そして、プラズマの電子密度は、ガス流量、ガス圧、高周波電力を変化させることによって様々に変化させた。また、誘電体チューブ32には石英チューブを採用し、同軸ケーブル23は石英チューブ32の先端部の内面に接触させて使用した。

【0052】図8に、測定結果の一例を示す。図8の横軸は図5のピークdのような同軸ケーブル23とともに移動するピークの吸収周波数、縦軸は図5のピークaのような移動しないピークの吸収周波数である。図8の結果から、両ピークの間にはきれいな比例関係があることが分かった。そして、この比例関係および式(1)を用いれば、モニタリング中に測定される図5のようなデー

タから容易にかつ迅速にプラズマの電子密度を求められることが確認できた。

【0053】（実施例3）図1の装置を用いて、図4に示すチューブ32内の芯線24（アンテナ）の位置と反射係数比との関係を測定した。プラズマは、Ar=50sccm、10mTorr、200Wの条件で発生させた。また、アンテナ24は長さ6mmの直線形状のものを使用した。図9に測定結果の一例を示す。図9から明らかなように、アンテナ24先端部がチューブ内面に接触している（図のX=0mm）ときには2つのピークB、Dしか発生しないが、アンテナ24がチューブ32内面から離れる（図のX=6mm、10mm）と、3つのピークA、B、Dが発生する。ピークB、Dの周波数はアンテナ24の位置によって変化し、また、アンテナ24がチューブ32内面に接触しているときに発生する高周波側のピークDが、アンテナ24の位置を変化させたときのどのピークよりも大きい。このことから、モニタリング中のアンテナ24すなわち芯線24の位置は、チューブ32内部で固定することが好ましいことが分かった。また、アンテナ24先端部は、チューブ32先端部の内面に接触していることが好ましいことが確認された。以下の実施例はすべて、アンテナ24の先端部をチューブ32内面に接触させて行った。

【0054】（実施例4）図1の装置を用いて、図4に示すチューブ32外表面の汚染状態と高周波電力の吸収率との関係を調べた。チューブ32外表面の汚染は、RIE方式のプラズマチャンバにチューブ32を挿入した状態でプラズマを起こし、チューブ32外表面に堆積物を形成して行った。汚染時のプラズマは、CF<sub>4</sub>=50sccm、150mTorrを、200Wの放電で発生させた。一方、吸収率の測定は、Ar=50sccm、20mTorr、400Wのプラズマ中で行った。アンテナ24は、3mmおよび10mmの長さの直線形状のものを使用した。

【0055】図10に測定結果の一例を示す。図10の横軸は汚染時の堆積時間であり、縦軸は測定された吸収率である。図10から明らかなように、汚染時間が長くなるにつれ、つまりプローブの表面が汚れるに従って吸収率は低下する。アンテナが3mmのとき、約90分の汚染では吸収率が小さくピークを検出することはできなかった。しかし、10mmのアンテナでは90分でもピークを検出でき、さらにより長い時間までピークを検出できた。このように、堆積性プラズマの電子密度測定やモニタリングにおいては、表面の汚染によって吸収率が低下するので、より感度の高いアンテナが求められ、アンテナの形状が直線形状のものでは、その長さが長い方が感度が良いことが確認された。

【0056】（実施例5）図1の装置を用いて、図4に示すチューブ内32でのアンテナ24の長さ、高周波電力の吸収率との関係を測定した。アンテナ24には直

線形状のものを使用した。プラズマは、 $A_r = 50 \text{ sccm}$ 、 $10 \text{ mTorr}$ 、 $400 \text{ W}$ の条件で発生させた。図11に測定結果の一例を示す。図11(a)から明らかのように、アンテナ24の長さが長くなるほど吸収率が大きくなることが確認された。一方、図11(b)に示すように、アンテナ24の長さが20mm程度になると、複数の吸収率のピーク（図の反射係数比の極小値のピーク）の高さが同程度になって、ピークの同定が困難になることも確かめられた。これらの結果より、アンテナ24の直線部分の長さは8mm以上12mm以下が適切であることが確認された。

【0057】（実施例6）図1の装置、ならびに図4に示すチューブ32およびアンテナ24を用いて、アンテナ24に入力する高周波電力の周波数と吸収率との関係を調べた。プラズマは、 $A_r = 50 \text{ sccm}$ 、 $10 \text{ mTorr}$ のもとでRFパワー（すなわち周波数）を様々に変化させて発生させた。アンテナ24は、10mmの長さの直線形状のものを使用した。

【0058】図12に測定結果の一例を示す。図12から分かるように、周波数が小さい（RFパワーが小さい）ほど、すなわちプラズマの電子密度が小さいほど、吸収率が低下することが確かめられた。

【0059】一方、周波数を上げていくと、吸収率も増加するが800W程度で複数のピークが発生した。これは、前述したように、高周波電力の周波数が大きくなって波長が短くなったために、余計なモードの波が発生したからであると考えられる。このように、直線形状のアンテナ24については、電子密度の大きいプラズマに対しては、長さは短い方が良いことが確かめられた。

【0060】（実施例7）図1の装置を用いて、図4に示すチューブ32内でのアンテナ24の形状と、高周波電力の吸収率との関係を測定した。各アンテナ24の直\*

先端厚み (mm)	3	5	10	15
吸収率 (dB)	1.95	0.44	0.24	0.2

【0066】上表1から明らかなように、チューブ32の先端部の厚みが小さいほど吸収率が大きいことが確かめられた。

【0067】

【発明の効果】以上、詳述した通り、本発明によれば、プラズマ処理装置の内面状態の変動を処理中の膜堆積の影響を殆ど受けずに高感度でモニタリングしながら処理することが可能なプラズマ処理方法およびその装置、ならびにプラズマモニタリング装置を提供することができる。本発明によれば、プラズマ処理装置のメンテナンスが必要な時期を検出できて、メンテナンス終了直後の装置がプラズマ処理を再開できる状態に戻る時期を検出することもできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るプラズマ処理装置の一例を示す概

\*線部分の長さはほぼ3.0mmに固定し、直線形状、L字型先端部、T字型先端部の各アンテナ形状について測定した。プラズマは、 $A_r = 50 \text{ sccm}$ 、 $20 \text{ mTorr}$ 、 $500 \text{ W}$ の条件で発生させた。

【0061】図13に測定結果の一例を示す。図13から明らかなように、直線形状よりもL字型の方が吸収率が高いことが確認された。また、L字部分およびT字部分の長さが同じであれば、L字型よりもT字型のアンテナ24の方がさらに吸収率が高いことが確かめられた。さらに、L字部分またはT字部分がそれぞれ長くなるほど、吸収率が高くなることも確認された。

【0062】（実施例8）図1の装置を用いて、図4に示すチューブ32の先端部の形状および先端の厚みと、高周波電力の吸収率との関係を測定した。チューブ32には、図14(a)に示すように先端が曲面で封じられたものと、図14(b)に示すように先端が平面で封じられたものを用いた。各チューブ32とも石英製で、それぞれ外径は8mm、内径は5mmであった。アンテナ24は、長さ3mmの直線形状のものを使用した。プラズマは、 $A_r = 50 \text{ sccm}$ 、 $7.5 \text{ mTorr}$ 、 $400 \text{ W}$ の条件で発生させた。

【0063】まず、先端の厚みが等しい両チューブ32について吸収率を測定したところ、図14(b)のチューブ32の方が図14(a)のチューブ32よりも約40%高い吸収率を示した。この結果より、先端が平面で封じられたチューブ32を用いる方が吸収率が高いことが確認された。

【0064】次に、図14(b)のチューブ32の先端の厚みを変えて吸収率を測定した。測定結果の一例を下表1に示す。

【0065】

【表1】

先端厚み (mm)	3	5	10	15
吸収率 (dB)	1.95	0.44	0.24	0.2

略断面図。

【図2】本発明に係るプラズマモニタリング部の一例を示す概略図。

【図3】本発明に係るアンテナの形状の一例を示す斜視図。

【図4】本発明に係るプラズマモニタリング部の他の例を示す概略図。

【図5】本発明に係る反射波電力の測定結果の一例を示す図。

【図6】本発明の実施例におけるエッチング中の測定結果の一例。

【図7】本発明の実施例におけるエッチング後の測定結果の一例。

【図8】本発明の実施例における2つの吸収周波数の間の相関関係を測定した結果の一例を示す図。

【図 9】本発明の実施例におけるアンテナの位置と反射係数比との間の関係を測定した結果の一例を示す図。

【図 10】本発明の実施例におけるチューブ外表面の汚染状態と高周波電力の吸収率との間の関係を測定した結果の一例を示す図。

【図 11】本発明の実施例におけるアンテナの長さと吸収率との間の関係を測定した結果の一例を示す図。

【図 12】本発明の実施例における高周波電力の周波数と吸収率との間の関係を測定した結果の一例を示す図。

【図 13】本発明の実施例におけるアンテナの形状と吸 10 収率との間の関係を測定した結果の一例を示す図。

【図 14】本発明の実施例で用いたチューブの形状の一例を示す断面図。

【符号の説明】

1…チャンバ

2…石英窓

\* 3…ループアンテナ

4…整合器

5…プラズマ用高周波電源

6…ガス導入口

7…排気口

8…基板電極

10…プラズマ処理部

20…プラズマモニタリング部

21、31…シール部材

22…透過窓

23…同軸ケーブル

24…芯線

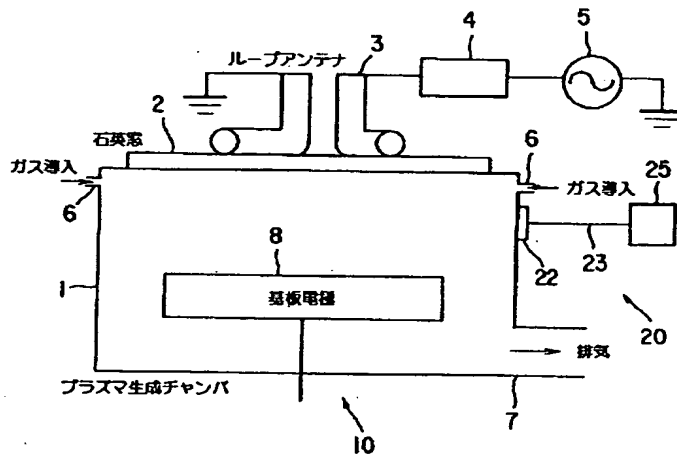
25…検出手段

26…接地線

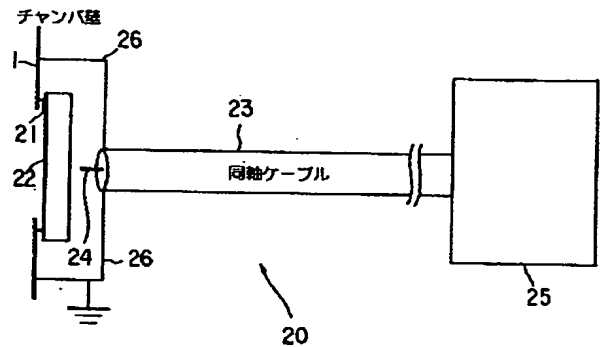
32…誘電体チューブ

\*

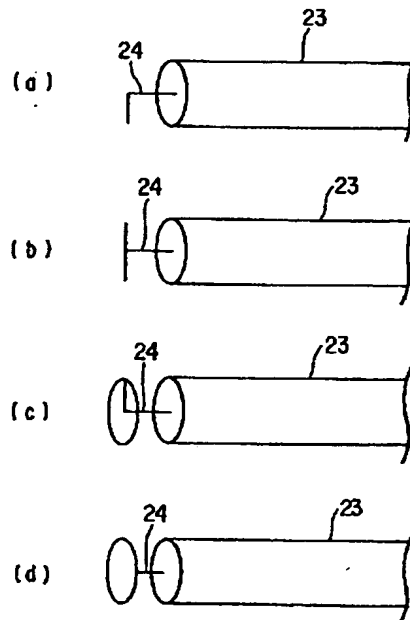
【図 1】



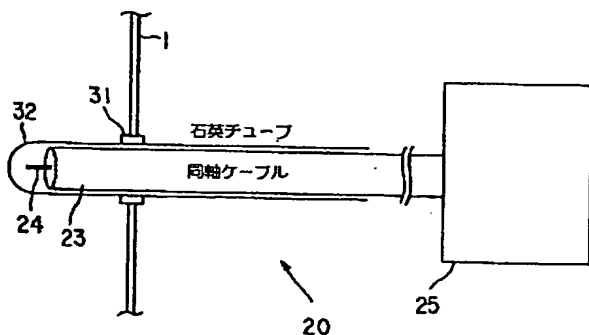
【図 2】



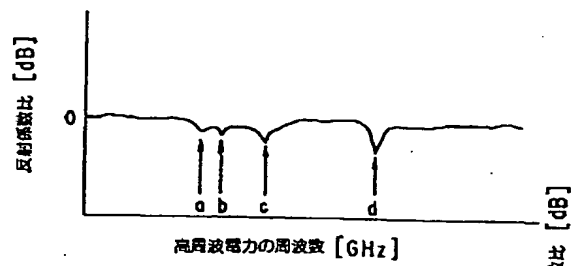
【図 3】



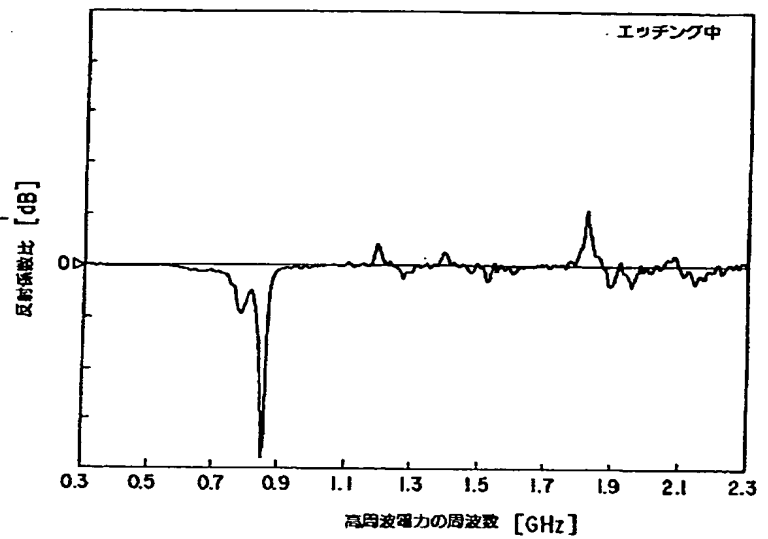
【図 4】



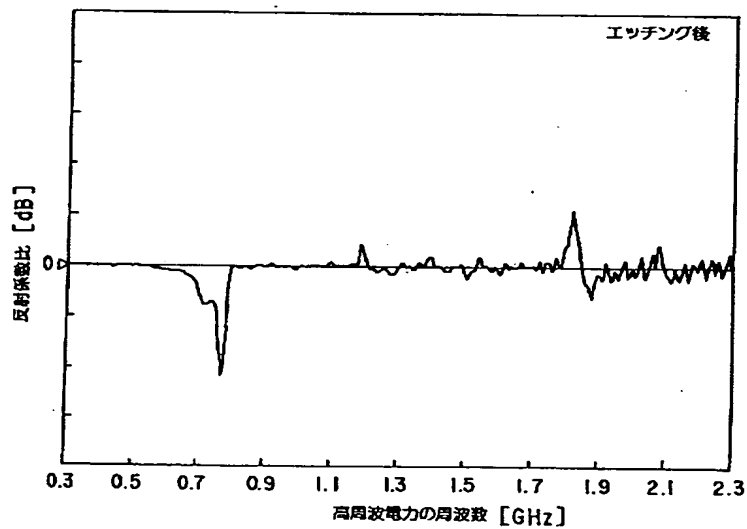
【図5】



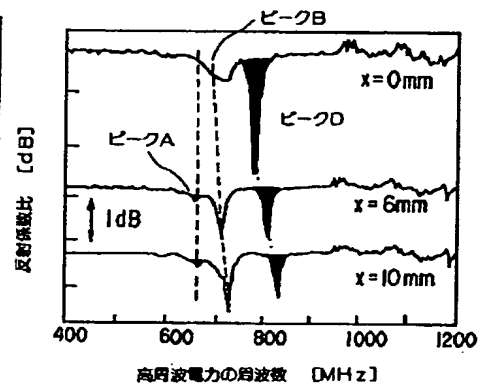
【図6】



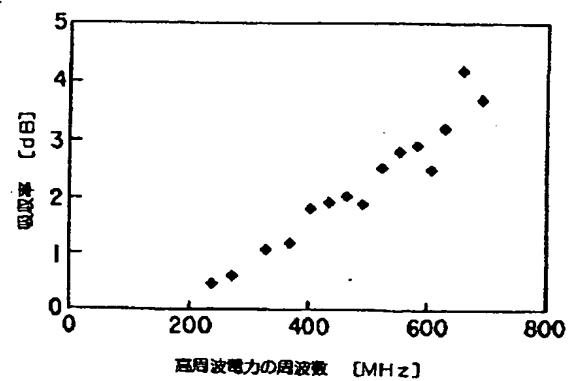
【図7】



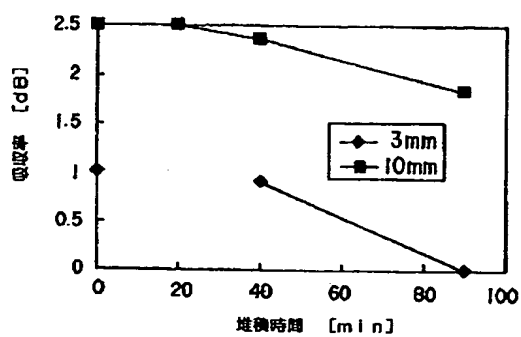
【図9】



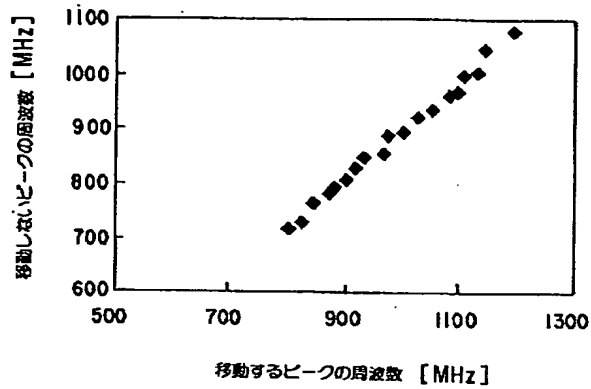
【図12】



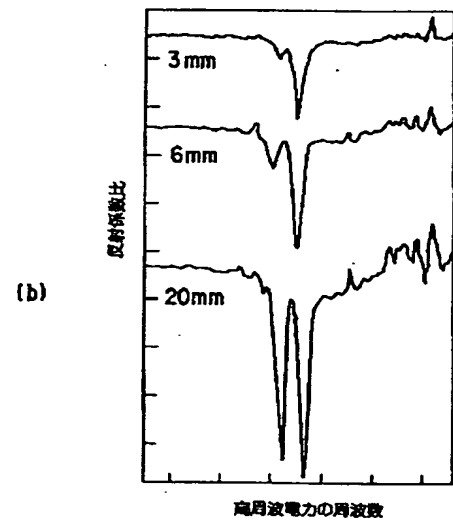
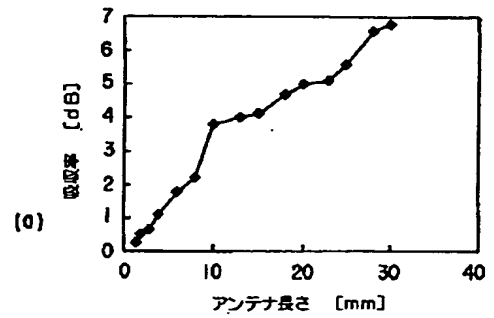
【図10】



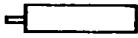

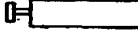
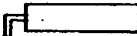
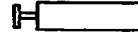

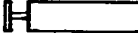
【図8】



【図11】



【図13】

直線長さ3mm 	直線長さ3mm L字長さ3mm 	直線長さ3mm T字長さ3mm 
0.4dB	0.8dB	1.0dB
	直線長さ3mm L字長さ5mm 	直線長さ3mm T字長さ5mm 
	1.4dB	1.8dB
	直線長さ2.5mm L字長さ5.6mm 	直線長さ3mm T字長さ7mm 
	1.8dB	2.5dB

【図14】

